



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

HENRI VANHA  
SUURJÄNNITEJAKELUVERKON KRIITTISTEN VARAOSIEN SEL-  
VITYS

Diplomityö

Tarkastaja: professori Pekka Verho  
Tarkastaja ja aihe hyväksytty  
Tieto- ja sähkötekniikan tiedekunta-  
neuvoston kokouksessa 9. joulukuu-  
ta 2015

## TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Sähkötekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

**HENRI VANHA:** Suurjännitejakeluverkon kriittisten varaosien selvitys

Diplomityö, 78 sivua, 16 liitesivua

Toukokuu 2016

Pääaine: Sähköverkot ja -markkinat

Tarkastaja: professori Pekka Verho

Avainsanat: varaosat, jakeluverkon komponentit, omaisuuden hallinta, inventointi, vertailu, analysointi

Yksittäisen laitteen toimintahäiriö tai vikaantuminen voi aiheuttaa teollisuusverkkoyhtiössä mittavia omaisuus- tai henkilövahinkoja. Jotta aiheutuneet ongelmat saataisiin minimoitua, tarvitaan omaisuudenhallintaa. Omaisuuden hallinnalla tarkoitetaan toimintaa, joka sisältää suunnittelun, käytön ja kunnossapidon. Omaisuuden hallinnan yhtenä suurimpana haasteena on toiminnan kustannusten optimointi pyrittäessä verkostostrategian pohjalta muodostuneisiin tavoitteisiin.

Varaosien hallinta on yksi omaisuuden hallinnan tekijä. Varaosien hallinnalla on suuria taloudellisia vaikutuksia, koska varaosien hallinta vaikuttaa oleellisesta keskeytyksistä aiheutuneisiin kustannuksiin. Täydellistä varaosavarmuutta ei tavoitella, sillä se tarkoittaisi kustannusten suhteettoman suurta kasvua.

Varaosien hallinnassa oleellista on oikeiden varaosien oikeanlaista määrää oikeassa sijainnissa. Tämän työn päällimmäisenä ongelmana olikin osin puutteellinen tieto varaosavarastojen sisällöistä ja näiden mahdollisista puutteista. Tilanteen kartoittamiseksi tehtiin kattava varastojen inventointi. Inventointien jälkeen perehdyttiin olemassa oleviin järjestelmälaitteistoihin. Kun tieto varaosista ja järjestelmässä käytössä olevista komponenteista oli kerätty, oli mahdollista analysoida tilannetta.

Työn tuloksena syntyi joukko päätelmiä ja kehitysehdotuksia, joista merkittävimmät koskivat kaapelitarvikkeiden päivittämistä, suojarelekannan modernisointia, kompensointilaitteistoon liittyvien pientarvikkeiden hankintaa, IT- ja kaukokäyttöjärjestelmään liittyvän laitekannan tiedon päivittämistä ja senkkauuni 2 muuntajaa. Työn ohessa kunnossapitojärjestelmää laajennettiin varastohallintamoduulilla. Tämän avulla varastojen hallinta on ajantasaista, varaosien seuranta helpommin toteutettavaa ja mahdollisten nollasaldojen todennäköisyys pienempi.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Electrical Engineering

**HENRI VANHA:** High voltage grid critical spare part inventory

Master of Science Thesis, 78 pages, 16 Appendix pages

May 2016

Master's Degree Programme in Information Technology

Major: Power systems and market

Examiner: Professor Pekka Verho

**Keywords:** spare parts, components of distribution systems, asset management, inventory, comparison, analysis

Malfunction or defect of single component in industry grid can cause massive damage to assets or personal. Assets management is needed to minimize these problems. Assets management includes planning, operation and maintenance. One of the most challenging issues in assets management is cost optimization when network strategy is implemented.

Spare parts management is a part of assets management. Spare parts management has a great financial impact because of standstills. It is not financially reasonable to ensure completely whole spare parts capacity.

In spare parts management it is relevant to have correct amount of the right kind of spare parts in correct location. While doing this master thesis there was a challenge because knowledge of the company's spare parts stocks was imperfect. Comprehensive inventory of spare parts was done to get the necessary information. Then distribution system equipment was surveyed. After these operations it was possible to analyze situation.

Outcome of the work were some conclusions and development proposals. Most important of them were updating of cables accessories, modernization of protection relay equipment, purchase of compensator equipment, updating IT- and remote control systems and ladle furnace 2 transformer. Maintenance system was expanded with a stocks management application. The application makes stocks management updated, spare parts are easier to control and possibility of missing spare part is smaller.

## ALKUSANAT

Diplomityön idea sai alkunsa keväällä 2015 yhteydenotosta Outokumpu Tornio Worksin tehdasalueella sijaitsevalle teollisuusverkkoyhtiö Röyttä Industrial Grid Oy:lle (RIG Oy). Sen sijaan, että yrityksellä olisi ollut tarjota kesätöitä, tarjosivat he diplomityöpaikkaa. Syksyllä 2015 sovittiin ensimmäinen tapaaminen, jossa pohdittiin alustavaa aihetta toimitusjohtaja Jukka Kuulan kanssa. Tästä käynnistyi kautta aikojen ensimmäinen RIG:lle tehtävä diplomityö, jonka nimeksi päätettiin Suurjännitejakeluverkon kriittisten varaosien selvitys.

Tämän diplomityön tarkastajana on toiminut professori Pekka Verho. Pekkaa haluan kiittää opastuksesta ja neuvoista työn eri vaiheissa. Ohjaajana tässä työssä on toiminut RIG Oy:n toimitusjohtaja Jukka Kuula, jota haluan kiittää työn ohjauksesta ja saamastani mahdollisuudesta tehdä diplomityö RIG Oy:lle. Haluan myös kiittää RIG:n henkilökuntaa monien kysymyksien vastauksista ja avusta työn parissa.

Suurimmat kiitokset kuitenkin haluan esittää lähimmäisilleni, jotka ovat olleet tukena diplomityön eri vaiheissa. Heidän avulla opinnot Tampereella ja diplomityön teko Torniossa ovat olleet mahdollisia.

Torniossa, 19.5.2016

Henri Vanha

## SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO .....	1
2.	KUNNOSSAPITO, VASTUUT JA RISKIENHALLINTA SÄHKÖVERKKOTOIMINNASSA.....	2
2.1	Kunnossapito.....	2
2.1.1	Ehkäisevä kunnossapito .....	3
2.1.2	Korjaava kunnossapito.....	4
2.2	Kunnossapidon tietojärjestelmät .....	4
2.3	Riskienhallinta.....	5
2.4	Viranomaisvaatimukset koskien sähkötöiden- ja käytön johtajaa .....	8
3.	RÖYTTÄ INDUSTRIAL GRID JA OUTOKUMPU TORNIO WORKS .....	10
3.1	RIG Oy Tornion terästehtailla.....	10
3.2	Tehdasverkon operointi.....	12
3.3	Tehdasverkon kunnossapito sekä vika- ja vauriotilanteiden korjaus .....	13
3.4	Outokumpu Tornio Worksin prosessi .....	16
4.	RIG:LLÄ KÄYTÖSSÄ OLEVAT TIETOJÄRJESTELMÄT .....	19
4.1	IT-infrastruktuuri ja tietoturvallisuus RIG:llä .....	19
4.2	Graafinen käyttöliittymä .....	21
4.3	CISS Base dokumentinhallintajärjestelmä .....	23
4.4	WiseMaster Flow Maint kunnossapitojärjestelmä RIG:n käytössä .....	24
4.4.1	Työn ohessa käyttöön otettava varastonhallintamoduuli .....	26
5.	RIG OY:N OMAISUUDEN HALLINTA .....	28
5.1	Sähköverkkoyhtiön omaisuuden hallinta .....	28
5.2	Varaosavarastot ja näiden hallinta.....	29
5.3	Komponenttien elinkaari ja ikääntyminen .....	31
5.4	RIG Oy:n omaisuuden hallinta.....	34
6.	VARAOSIEN HALLINTA JA LUKUMÄÄRÄT RIG:LLÄ.....	38
6.1	Varaosavarastot ja näiden toiminta .....	38
6.2	Verkoston komponentit ja varaosien lukumäärät.....	40
6.2.1	Kaapelit .....	40
6.2.2	Kaapelipäätteet ja -jatkokset .....	44
6.2.3	Muuntajat .....	47
6.2.4	Katkaisijat ja erottimet .....	51
6.2.5	Kompensaattorit .....	53
6.2.6	Suojareleet.....	60
6.2.7	Kaukokäyttölaitteet (SCADA) .....	62
6.2.8	IT-laitteet.....	63
7.	HAVAINNOT JA SUOSITUKSET JÄRJESTELMÄN KOHTEIDEN VARAOSATILANTEESTA .....	65
7.1	Häiriötapaukset tehdasverkossa .....	65
7.2	Kaapelit .....	67

7.3	Kaapelipäätteet ja –jatkokset.....	69
7.4	Muuntajat .....	70
7.5	Katkaisijat ja erottimet .....	71
7.6	Kompensaattorit .....	73
7.7	Suojareleet.....	74
7.8	Kaukokäyttölaitteet (SCADA) .....	75
7.9	IT-laitteet.....	76
8.	YHTEENVETO .....	77
	LÄHTEET.....	78

#### LIITE 1: TEHDASALUEEN SÄHKÖNJAKELUKAAVIO

#### LIITE 2: RIG OY:N VARASTOT TEHDASALUEEN KARTTAPOHJALLA

#### LIITE 3: ENERGIAVIRASTON ILMOITTAMAT KAAPELIKOHTAISET HINNAT VUODELTA 2013

#### LIITE 4: TEHDASALUEELLA OLEVAT RIG:N OMISTAMAT VARAMUUNTAJAT

#### LIITE 5: TEHDASALUEELLA OLEVAT RIG:N OMISTAMAT KÄYTÖSSÄ JA VARALLA OLEVAT KATKAISIJAT

#### LIITE 6: TEHDASALUEELLA OLEVAT RIG:N OMISTAMAT REAKTORIT

#### LIITE 7: TEHDASALUEELLA OLEVAT RIG:N OMISTAMAT KONDENSAATTORIYKSIKÖT

#### LIITE 8: TEHDASALUEELLA OLEVAT RIG:N OMISTAMAT SUOJARELEET JA NÄIDEN VARAOSAT

**LYHENTEET**

CBM	Condition Based Maintenance
GIS	Gas Insulated Switchgear
IGBT	Insulated Gate Bipolar Transistor
JHA	Jälleenhankinta-arvo
JVK	Jatkuvavalukone
KED	Kilpilahti Electricity Distribution
KTMp	Kauppa- ja teollisuusministeriön päätös
KUVA	Kuumavalssaamo
KYVA	Kylmävalssaamo
NKA	Nykykäyttöarvo
RBM	Reliability Based Maintenance
RIG	Röyttä Industrial Grid
SCADA	System Control And Data Acquisition
SU	Senkkauuni
SVC	Static Var Compensator
TBM	Time Based Maintenance
VKU	Valokaariuuni

# 1. JOHDANTO

RIG:n toiminnan tarkoituksena on operoida ja kunnossapitää tehdasalueella olevaa jakeluverkkoa siten, että Suomen suurimman yksittäisen sähkönkuluttajan, Outokumpu Tornio Worksin, ruostumattoman teräksen valmistuksessa käytetyt lukuisat prosessit toimivat sähkönjakelun osalta asetuksien, vaatimuksien ja sopimuksien mukaan. Tehdasverkko laitteistoinen on muutamaa yksittäistä kohdetta lukuun ottamatta RIG:n omistama.

Diplomityön tavoitteena on tehdasverkon eri osien kriittisten varaosien kartoitus ja näiden vertailu olemassa olevaan järjestelmään nähden. Varaosien ja varalaitteiden kartoituksen piiriin kuuluu tehdasverkon keskeisimmät komponentit kuten kaapelit, kaapeli-päätteet ja -jatkokset, kompensointilaitteistot, muuntajat, suojarieleet, katkaisijat ja erottimet, IT- ja kaukokäyttölaitteet. Koko järjestelmän laajuuden vuoksi tarkastelun piiriin kuuluvat kohteiden tai koko järjestelmän kriittiset komponentit, mikä tässä työssä tarkoittaa sellaisia komponentteja, jotka ovat kohteen toiminnan tai koko tehdasverkkokokonaisuuden kannalta erityisen tärkeitä. Kriittisyyttä tarkasteltaessa on huomioitava myös varaosien saatavuus, koska myös vähemmän kriittisen osan merkittävyys prosessissa korostuu tällaisen varaosan pitkäaikaisen puutteen aiheuttaessa katkoksen toimintaan.

Diplomityö aloitetaan varaosavarastojen inventoinneilla, joita RIG:n omistuksessa Outokumpu Tornio Worksin tehdasalueella on yhteensä 18. Inventointien jälkeen työssä kartoitetaan olemassa olevan järjestelmän komponenttimäärät, jonka jälkeen voidaan suorittaa vertailu. Vertailun tavoitteena on määrittää konkreettinen näkymä olemassa olevan järjestelmän ja varaosina olevien komponenttien suhteesta. Työn lopuksi suoritetaan analyysiä siitä, millaisessa tilanteessa ollaan varaosien tilanteen suhteen. Tässä yhteydessä pohditaan myös, mitä varaosia ja millaisia määriä olisi hyvä olla varastoituna vikatilanteen varalta. Työn kirjallisessa osuudessa esitellään myös RIG:n toimintaa ja toimintatapoja, RIG:llä käytössä olevia järjestelmiä ja omaisuuden hallintaa RIG:llä. Työn tavoitteena kokonaisuudessa on olla avuksi omaisuuden hallinnassa ja parantaa teollisuusverkon teknistä laatutasoa lyhentämällä katkoksista johtuvaa keskeytysaikaa varastoimalla järjestelmän kannalta kriittisimpiä varaosia.



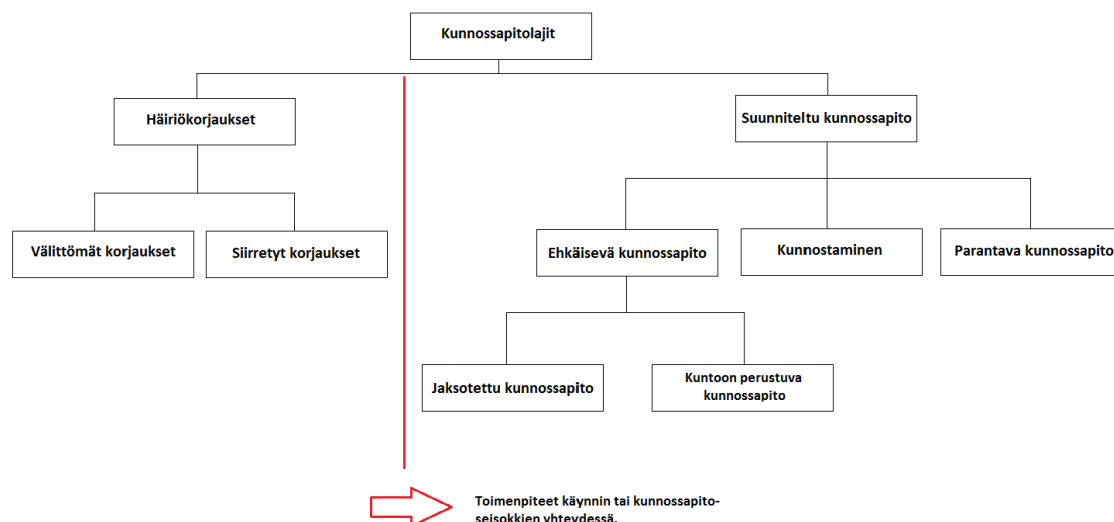
## 2. KUNNOSSAPITO, VASTUUT JA RISKIENHAL- LINTA SÄHKÖVERKKOTOIMINNASSA

Yksittäisen laitteen toimintahäiriö tai vioittuminen sähköverkossa voi aiheuttaa mittavia korvaus- ja kuluvahinkoja niin verkkoyhtiölle kuin asiakkaalle. Näistä häiriöistä aiheutuvia kuluja pyritään minimoimaan monella tapaa ja yksi merkittävin menetelmä on kunnossapito. Kunnossapidossa tarkoituksena on pitää laitteet mahdollisimman hyvin toimintakunnossa ehkäisten ennakoimattomat keskeytykset. Kunnossapidon tavoitteena on myös verkosto-omaisuuden käyttöön kasvattaminen ja tätä kautta maksimaalisen hyödyn saaminen omaisuuskannasta. Pyrittäessä mahdollisimman pieniin järkeviin keskeytyskustannuksiin, on tunnettava järjestelmä ja riskit mahdollisimman hyvin sekä kyettävä analysoimaan ja arvioimaan riskejä. Kunnossapidon ja riskienhallinnan apuna voidaan käyttää kunnossapitojärjestelmää, josta löytyy tietoa muun muassa menneistä ja tulevista huolto- ja korjaustoimenpiteistä, työnsuunnittelusta ja aikataulutuksesta sekä raportoinnista ja varaosista.

### 2.1 Kunnossapito

Kunnossapidon tarkoituksena on pitää laitteet ja järjestelmä toiminnaltaan kokoaikaisessa käyttökunnossa sillä tavalla, että järjestelmän kokonaiskustannukset pitkällä aikavälillä minivoituvat. Kokonaiskustannuksiin summautuvat kustannukset koostuvat investoinneista, keskeytyksistä, käytöstä ja kunnossapidosta. Kunnossapito voidaan jakaa kahteen ryhmään, joita ovat vikoja ehkäisevä kunnossapito ja vikoja korjaava kunnossapito. Ehkäisevä kunnossapito toteutetaan pääosin aikaan perustuen (TBM, time based maintenance) tai laitteen kuntotilaan perustuen (CBM, condition based maintenance), joka on nykyään näistä yleisemmin käytetty. Valittaessa kunnossapitostrategiaa on määritettävä tasapaino korjaavan- ja ehkäisevän kunnossapidon väliltä. [1, s.228] Kuvassa 1. on havainnollistettu kunnossapitolajien jakautuminen.

Kunnossapidon merkitys on nykypäivä korostunut ja tämä on johtanut kunnossapitoorganisaatioiden voimakkaaseen muuttumiseen. Kunnossapidon organisoinnissa voidaan käyttää seuraavia periaatemalleja: keskitetty kunnossapito, hajautettu kunnossapito, kunnossapito omana tulosityksikkönä, kunnossapito palveluiden osto, käynnissäpito ja edellä mainittujen mallien yhdistelmät. Luonnollisesti käytetty kunnossapitomalli riippuu yrityksen koosta, tuotantotavasta, kunnossapitostrategiasta, sijainnista, ulkopuolisten palveluiden saatavuudesta ja henkilöstöpolitiikasta. [2. s.61- 62]



**Kuva 1.** Kunnossapitolajien jakoa. [3. s.34]

### 2.1.1 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevän kunnossapidon tavoitteena on saada suoritettua komponenttien korjaus- ja huoltotyöt ennen kuin niistä aiheutuu haittaa. Määritettäessä sopivaa kunnossapito-ohjelmaa kohteeseen, voidaan apuna käyttää luotettavuuteen pohjautuvaa kunnossapitomenetelmää (RBM, reliability based maintenance). Luotettavuuteen pohjautuvassa kunnossapitomenetelmässä perustana käytetään komponentin tärkeyttä ja todellista kuntoa. Kohteen vaikuttaessa vain vähän käyttövarmuuteen, voidaan kunnossapito suorittaa tarpeen mukaan. Hiukan tärkeämpien kohteiden kohdalla kuten suoja-releet, tulevat mukaan mittaus- ja tarkastustoimenpiteet. Näiden toimenpiteiden tavoitteena on pitää tietämys komponenttien kunnosta ajan tasalla ja välttää yllättävät vikaantumiset. Tiedettäessä komponentin kunto osittain heikentyneeksi, voidaan tälle suorittaa ennakkohuoltoa ja kunnon ollessa heikentynyt merkittävästi, kohteelle voidaan joutua suorittamaan laajempi huolto- tai vaihtotyö. Ehkäisevän kunnossapidon pyrkimyksenä on pitää järjestelmä toimintakunnossa ja näin ollen tämä onkin haasteellisimpia kunnossapidon osalueita. [1. s.228- 230]

Ehkäisevän kunnossapidon tärkeänä työkaluna voidaan pitää kunnonvalvontaa. Kunnonvalvonnan tehtäväksi voidaan määritellä sellaisten tietojen tuottaminen, joilla koneiden käyttö onnistuu keskeytyksettä tavoitellun käyttöjakson yli ja korjaukset, huolto-toimenpiteet ja parannukset voidaan suorittaa suunnitellusti. Kunnonvalvonta tarkoittaa siis laitteen kuntotilan selvittämistä ja tätä kautta jäljellä olevan luotettavan käyttöiän määrittystä. Tavoitteena kunnonvalvonnassa on saada ennakoiva tieto alkavasta viasta ja

kyetä välttämään odottamattomat laiterikot ajastaen toimenpiteet seisokkien yhteyteen. [4. s.119- 120]

Kunnonvalvonnan menetelmät voidaan jakaa visuaalisiin ja mittaavin menetelmin tehtävät tarkastukset. Visuaalisiin menetelmin tehtävät tarkastukset ovat laitteen oikeanlaisen toiminnan ja mahdollisesti alkavien vikojen havaitseminen. Mittaavilla kunnonvalvontamenetelmillä puolestaan tarkoitetaan kunnonseurantaa erilaisin mittaavin menetelmin kuten lämpökuvaukset, näytteiden otot kaasusta ja öljyistä tai katkaisijoiden toiminta-aikojen mittaukset. Usein ehkäisevään kunnossapitoon liittyvät kunnonvalvontatoimenpiteet tehdään laitteiston käydessä, jonka vuoksi ohessa tehtävät huolto- tai korjaustyöt ovat vähäisiä. Ehkäisevän kunnossapidon lisäksi tarvitaan myös korjaavaa kunnossapitoa, koska vikaantumisia ei aina voida välttää, vaikka ehkäisevä kunnossapito olisi suoritettu oikein.

### **2.1.2 Korjaava kunnossapito**

Korjaava kunnossapito on yleensä seurausta komponentin yllättävästä vikaantumisesta. Korjaavan kunnossapidon onnistumiseen täytyy materiaali- ja henkilöstöresurssit olla mitoitettuna oikein. Etenkin verkkoyhtiöillä varaosavarastoja ei ole merkittävästi, vaan toiminta perustuu palveluntuottajien ja varaosatoimittajien kanssa solmittuihin sopimuksiin. [1. s.230] Teollisuusverkkoja operoivat ja kunnossapitävät yhtiöt ovat yleensä varustautuneet paremmilla varastoilla, koska keskeytysten aiheuttamat kustannukset voivat olla moninkertaisia verkostopuoleen nähden. Teollisuudessa myös palveluntuottajien tarjoamat palvelut ovat käytetympiä.

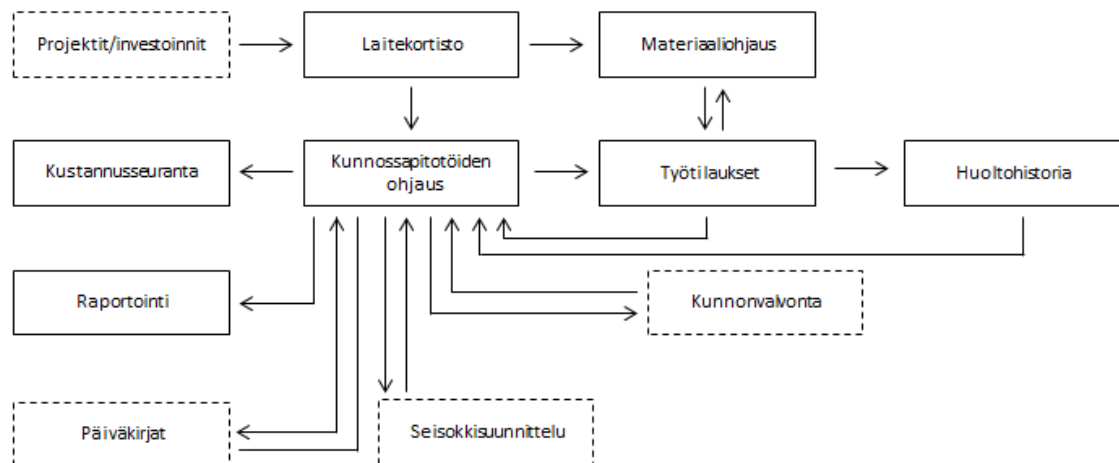
## **2.2 Kunnossapidon tietojärjestelmät**

Kunnossapidon tietojärjestelmät (käytetään myös nimeä kunnossapitojärjestelmä) ovat järjestelmiä joilla ohjataan kunnossapitotoimintaa ja materiaalivirtoja oikeaan aikaan oikeaan paikkaan. Järjestelmän toiminnan kannalta merkittävässä asemassa ovat kunnossapitoa suorittavat henkilöt, koska he tuottavat suurimman osan järjestelmään syötävästä tiedosta ja ovat näin vastuussa sen paikkansapitävyydestä. Kunnossapidon hallinta ja toimien jatkuva seuraaminen vaativat ajantasaista tietoa ja reagointikykyä. Oikeanlaisesti kerätyllä tiedolla laitteista, toimenpiteistä ja tapahtumista voidaan päätökset ohjata oikeaan suuntaan. [4. s.116] Ajantasainen kunnossapitojärjestelmä on erityisen hyödyllinen myös tilanteessa, jossa huoltohenkilökunta vaihtuu, esimerkiksi eläköitymisen tai organisaatiomuutoksien seurauksena. Nykyisin käytössä on verkkopohjaisia järjestelmiä, joiden avulla kunnossapitotoimintaa on mahdollista hallita paikasta riippumatta. Verkkopohjaisissa järjestelmissä voi mahdollisuutena olla myös ulkopuolisten

huolto- ja kunnossapitopalveluita tarjoavien yhteistyökumppaneiden liittäminen mukaan. [5]

Kunnossapitojärjestelmä on organisaation työkalu, jolla pyritään halutun toiminnallisuuden saavuttamiseen. Kuten kaikki muutkin järjestelmät, myös kunnossapitojärjestelmä saavuttaa hyödyllisyytensä vasta sitten kun sitä käytetään sille tarkoitetulla tavalla. Siihen asti järjestelmä aiheuttaa kustannuksia ja kuormitusta organisaatiolla. [6. s.220] Kunnossapitojärjestelmä voi sisältää useita erilaisia toiminnallisuuksia ja osioiden kokonaisuuksia, mutta useimpia organisaatioita palvelevat kuvan 2 mukaiset ominaisuudet. [4. s.116]

Usein kunnossapitojärjestelmä sisältää tiedot kohteesta kunnonvalvonnan näkökulmasta, mutta aina ei näin kuitenkaan ole. Tällöin käytössä voi olla erillinen kunnonvalvontajärjestelmä. Kunnonvalvonta- ja kunnossapitojärjestelmien ollessa erillisiä, on näiden välillä tarpeellista olla yhteys. Järjestelmät voivat toimia monella eri tavalla yhtenäisesti, mutta yleisimmin systeemi toimii siten, että kunnonvalvontajärjestelmä synnyttää hälytystiedon seurattua kohteesta tiettyjen rajojen tai algoritmien perusteella. Viesti voi kulkea suoraan automatiikkaan tai kunnossapitojärjestelmään, mutta käytetympää on tiedon kulkeminen ensimmäiseksi kunnonvalvonnan ammattilaisen kautta, joka arvioi tilanteen vakavuuden ja päättää mitkä tiedot ovat tarpeen välittää muille järjestelmille. Jotta kunnonvalvonta voi onnistua, tarvitaan lähetettyjen tietojen lisäksi vastatiedot koneista ja huoltohistoriasta. Oleellista kunnonvalvonnassa on huomata tämän olevan ohjaava toimenpide eikä ohjattava. [4. s.119- 120]



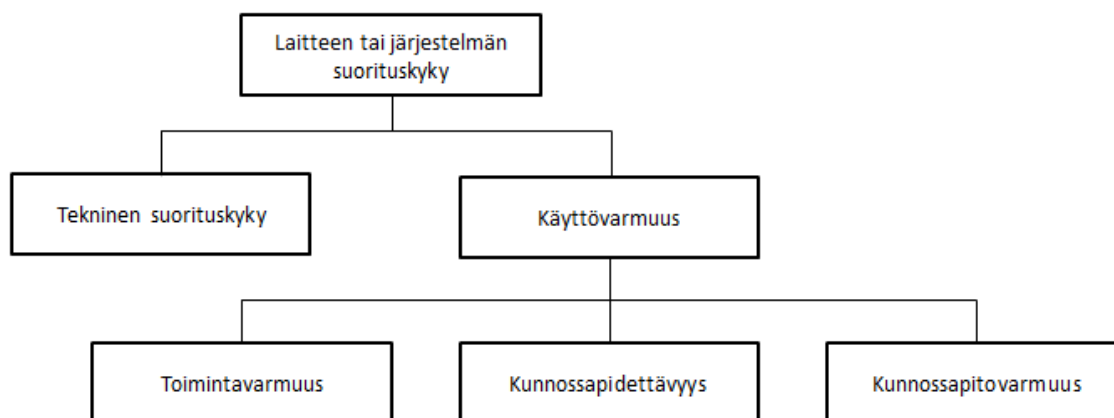
**Kuva 2.** Kunnossapitojärjestelmän toiminnallisuutta ja ominaisuuksia. [4. s. 116]

## 2.3 Riskienhallinta

Kaikki laitteet ovat lähtökohtaisesti suunniteltu toimimaan ongelmitta. Suunnittelun, valmistuksen, materiaalien, käytön, ylläpidon ja olosuhteiden ollessa tarkoituksenmu-

kaisia, ei rikkoontumista tapahdu. Minkä tahansa laiminlyönti voi laukaista vikaantumisen ja useamman laiminlyönti aiheuttaa usein toimintahäiriön laitteessa epäsuorasti tai piilevästi. [6. s.65] Laitteiden viat eivät synny itsestään vaan jokaisella vialla on oma syntymä ja kehitysvaihe. Päästäessä kiinni vikojen syntymään ja kehittymiseen, voidaan näitä ehkäistä, ja välttää yllättävät keskeytykset sekä väärät laitevalinnat. [6. s.53] Vikojen välttäminen ei aina kuitenkaan ole mahdollista, ja tämän vuoksi kriittisille järjestelmille on järkevää tehdä riskianalyysia. Riskianalyysin avulla voidaan järjestelmän tai komponentin vikaantumiselle määrittää tietty todennäköisyys ja tämän kautta varautua vikatilanteeseen.

Käyttövarmuuden suunnittelu ja kunnossapito on riskienhallintaa, jossa erilaisin menetelmin pyritään pienentämään satunnaisten vian todennäköisyyttä ja tämän vaikutusalue (riski muodostuu ei-toivotun tapahtuman todennäköisyydestä ja seurauksen laajuudesta). Riskin suuruuden määrittelyn vaikeutena on tästä aiheutuneen haitan suuruuden vaihtelu. Esimerkkinä voidaan käyttää muuntajavauriota verkon kahdessa eri pisteessä, joilla syötetään kahta vastaavaa prosessilinjaa. Katkoksesta aiheutuneesta haitasta voi tulla merkittäviä eroja linjan ollessa käynnissä tai parkissa. Riskien hallinnan perinteiset vaiheet ovat riskien tunnistaminen ja hallinta teknisten menetelmien avulla (suunnitteluvaiheessa) sekä käytön ja kunnossapidon osalle jäävän epävarmuuden hallinta. Käyttövarmuus määräytyy luotettavuudesta, huollettavuudesta ja huoltovarmuudesta. Näistä luotettavuus ja huollettavuus ovat investoinnin tuloksena syntyviä teknisiä ominaisuuksia, kun taas huoltovarmuus kunnossapito-organisaation kykyä ylläpitää laitteistoa. Kuvassa 3 on havainnollistettu käyttövarmuuden osatekijöitä. [4. s. 124- 127]



**Kuva 3.** Käyttövarmuuden osatekijät. [4. s.126]

Kriittisten komponenttien, vikamuotojen, vikamekanismien ja virheettömän käytön hallinta on käytettävyyden kehittämisen perustyökaluja. Em. menetelmät ovat pitkälle kehitettyjä ja standardoituja, mutta niiden käyttö kunnossapidossa ei ole sillä tasolla mitä nykyiset käytettävyyksvaatimukset vaativat. Toisaalta näiden menetelmien kytkeytymisen taloudellisiin tarkasteluihin voisi olla selkeämpi. Seuraavaksi lyhyesti esiteltävät menetelmät riskien analysointiin eivät ole tarkoitettu pelkästään kriittisten kohteiden ja tapahtumien tunnistamiseen vaan ne kertovat myös mitä parannustoimenpiteitä kohteet vaatisivat. [4. s.128]

**Vika- ja vaikutusanalyysi:** kohdistuu laitteeseen tai suoritukseen. Tarkoituksena on tunnistaa yksittäiset laiteviat ja niiden vaikutus järjestelmään.

**Vika-, vaikutus- ja kriittisyysanalyysi:** Edeltävän analyysin laajennus, jossa huomioidaan vioittumistapojen kriittisyys ja esiintymistodennäköisyys.

**Poikkeamatarkastelu:** Järjestelmällinen tekniikka vaarojen ja ongelmien tunnistamiseen, jossa huomioidaan koko ympäristö ja prosessi.

**Toimintovirheanalyysi:** Toimintoihin liittyvien virhemahdollisuuksien erittely, pyrkien tunnistamaan näiden aiheuttamat vaaratilanteet.

**Vikapuuanalyysi:** Vaarojen tunnistamis- ja taajuusanalyysitekniikka, joka alkaa ei-toivotusta tapahtumasta, huipputapahtumasta, ja määrittää kaikki siihen johtavat ketjut.

**Juurisyysanalyysi:** Menetelmässä haetaan ongelman perussyy. Perussyyn löydettyä, pyritään tämä poistamaan.

**Luotettavuuslohkokaavio:** Esittää graafisesti järjestelmän toimintaan tarvittavat komponenttien luotettavuuskytkökset.

**Tapahtumapuuanalyysi:** Vaarojen tunnistamis- ja taajuusanalyysitekniikka, jossa käytetään induktiivista päättelyä eri alkutapahtumien seurauksina tulevien ongelmien selvitukseen.

**Potentiaalisten ongelmien analyysi:** Menetelmässä tutkitaan millaisia ongelmia järjestelmässä voi tulla eteen ja pyritään ehkäisemään näiden synty.

**Reaktiomatriisi:** Tavoitteena on löytää kohteen materiaalien yhdistelmät, jotka voivat saada aikaan ei-toivotun reaktion.

**Huollon vaikutusanalyysi:** Menetelmä kohdistuu teknisen järjestelmän korjaavan ja ennakoivan kunnossapidon etukäteissuunnitteluun. Tavoitteena on epäkäytettävyyden ja kunnossapidon kustannusten saaminen edulliselle tasolle.

**Kunnossapidon turvallisuusanalyysi:** Menetelmällä voidaan seurata kunnossapidon turvallisuustoimien riittävyyttä ja tavoitteiden toteutumista.

**Syyseurauskaavio:** Menetelmän tavoitteena on identifioida ongelmien mahdolliset syyt. Vaihtoehtoisesti menetelmässä voidaan määrittää ehdot jollekin tavoite tilalle.

**Paretoanalyysi:** Menetelmässä esiintyneet ongelmat järjestetään niiden frekvenssin mukaan suurusjärjestykseen. Kehittämiskohteet kohdistetaan suuren frekvenssin omaaviin ongelmiin.

**Ihmisen luotettavuusanalyysi:** Menetelmällä tarkastellaan ihmisen vaikutusta järjestelmän toimintaan ja toimintavirheiden luotettavuuteen.

**Fracas:** Suljettu silmukka, jossa vikojen raportointi tapahtuu tiettyjen ehtojen mukaan ja viat ja virheet analysoidaan, jonka jälkeen suunnitellaan korjaava toimenpide.

**Vaara-analyysi:** vaarojen tunnistamis- ja taajuusanalyysitekniikka, jota voidaan käyttää vaarojen ja kriittisyyden tunnistamiseen aikaisessa vaiheessa. [4. s. 128-131]

Analysoitaessa etenkin seikkaperäisten riskien todennäköisyyksiä, edellytetään tarkkaa tarpeiden, kohteen rakenteen ja ominaisuuksien sekä käytön ja käyttöolosuhteiden tietämistä. Käytännössä tarkkojen rakenteiden, olosuhteiden ja ylijännitteiden selvittäminen, joille suurjännitelaitte joutuu alttiiksi, on vaikea määrittää. Esimerkiksi eristysrakenteissa käytettyjen materiaalien koostumus voi vaihdella, epäpuhtauksia voi esiintyä tai materiaali voi olla epähomogeenista. Tämän seurauksena materiaalien ja laitteiden kestoisuutta ja käyttäytymistä ei voida tarkasti ennustaa niiden ollessa tekemisissä erilaisten osittain tuntemattomien rasitusten kanssa. Kaikkein kriittisimmin suurjännitelaitteen elinikään vaikuttaa käyttö- ja ympäristöolosuhteet sekä rasitukset. [7. s.173]

Riskianalyysin kohteena voi olla tuote, suorite, palvelu, laite tai jokin näiden osa tai yhdistelmä. Kohteen tarkastelussa tulisi käyttää perustana häiriöiden tunnistamiseen ja tapahtumaketjujen mallintamiseen perustuvia kvalitatiivisia menetelmiä, joiden pohjalta pystytään suorittamaan täsmällistä laskennallista kvantitatiivista tutkimusta. Riskianalyysin tekemiseen vaikuttaa myös käytettävissä oleva aika, henkilöstön käyttövarmuustekninen osaaminen, talous ja kiinnostus aihetta kohtaan. [4. s.128]

## 2.4 Viranomaisvaatimukset koskien sähkötöiden- ja käytön johtajaa

Suomalaisen lainsäädännön mukaan sähkölaitteiston haltija vastaa laitteistonsa turvallisuudesta ja tämän turvallisesta käytöstä. Sähkölaitteiston haltija ei välttämättä itse ole sähköalan ammattilainen, mutta hän voi huolehtia vastuustaan teettämällä ammattitaitoa vaativat sähkötyöt sähköalan ammattilaisella, joka vastaa työn toiminnallisesta suorittamisesta. Sähköalan töitä tekevällä täytyy olla nimettynä sähkötöitä varten sähkötöiden johtaja, joka määrittää KTMP:ssä henkilöksi, jolle on annettu määrättyjä tehtäviä ja joka vastaa sähkötöistä. Sähkötöiden johtajan velvollisuutena on huolehtia, että sähkötöissä noudatetaan sähköturvallisuuslakia, sähkölaitteet ja -laitteistot ovat sähköturvallisuuslain mukaisia ja ovat asianmukaisessa kunnossa ennen käyttöönottoa ja toiselle luovuttamista. Sähkötöiden johtajan tehtävänä on myös huolehtia siitä, että sähkötöitä tekevät henkilöt ovat ammattitaitoisia ja riittävästi opastettuja. Tarvittaessa sähkötöiden johtaja voi tehdä sähkötyöt itse, mutta mahdollisuutena on myös teettää työt riittävän ammattitaitoisilla ja opastetuilla henkilöillä. Kokonaisvastuu sähkötöistä ja sähköturvallisuuden noudattamisesta säilyy kuitenkin sähkötöiden johtajalla, siitäkin huolimatta vaikka sähkötöiden tekijän lähin esimies on muu kuin sähköalan ammattihenkilö. [8. s.54]

Kaikilla sähkölaitteistoilla tulee olla käytöstä vastaava henkilö, jonka tehtävänä on vastata sähkölaitteiston toiminnallisesta käytöstä. Tarvittaessa osia näistä tehtävistä voidaan jakaa eri henkilöiden kesken. Esimerkkinä tällaisesta tilanteesta voi olla kahden järjestelmän kytkeytyminen toisiinsa, missä molemmilla on omat käytöstä vastaavat henkilöt. Tällöin käytöstä vastaavien henkilöiden tulee sopia yhteistyöstä ja tiedonvaihdesta, jotta sähköturvallisuus molemmissa järjestelmissä on taattu. [9. s.13- 14]

Käytön johtajan nimeäminen tapahtuu sähkölaitteiston haltijan toimesta ja hänet on nimeävä aina nimellisjännitteeltään yli 1000 V suurjännitelaitteistoihin (lukuun ottamatta järjestelmiä, jotka ovat pienjännitteellä syötettyjä) tai yhtenäiselle kiinteistöryhmälle, jonka liittymisteho on yli 1600 kVA. Käytön johtaja voi olla sähkölaitteiston haltija tai tämän palveluksessa. Käytön johtajana voi toimia myös henkilö, joka toimii kunnossapitoyrityksen palveluksessa, jolla on sähkölaitteistoja koskeva kunnossapitosopimus sähkölaitteiston haltijan kanssa. Tapauksessa jossa käytön johtajana toimitaan esim. kunnossapitosopimuksen kautta, voidaan toimia enintään kolmen nimellisjännitteeltään enintään 20 kV muuntamoa sisältävässä järjestelmässä tai muuntamoon rinnastettavissa yli 1000 V nimellisjännitteisissä kytkinlaitoksissa. [9. s.10]

Myös käytön johtajan tehtävänkuvaan sähkötöiden johtajan tapaan kuuluu sähköturvallisuuslain ja tämän perusteella syntyneiden määräyksien ja asetusten noudattaminen. Käytönjohtajan tehtävänä on lisäksi huolehtia, että käyttötöitä tekevät henkilöt ovat riittävän ammattitaitoisia ja opastettuja tehtäviinsä. Käyttötöyt edellyttävät sähkötöiden tapaan myös riittävää ammatillista osaamista, opastamista ja jatkuvaa kehittämistä kehittyvässä ympäristössä. Verkkoyhtiöiden tai voimalaitoksien käyttötöitä tekevät henkilöt ovat käytöstä vastaavia henkilöitä. [8. s.54]

Toimiakseen sähkötöiden johtajana tai sähkölaitteiston käytön johtajana, täytyy hänellä olla toimialueen kattava, henkilö- ja yritysarviointi SETI Oy:n myöntämä pätevyystodistus (S1, S2 tai S3), joka antaa oikeuden toimia edellä mainituissa tehtävissä pätevyystodistuksissa mainituin rajoituksin. Sähkötöiden johtajalla tai sähkölaitteiston käytön johtajalla täytyy olla myös sellainen asema, että hänellä on mahdollisuudet huolehtia tehtävistään ja valta vaikuttaa vastuullaan oleviin asioihin. Sähkötöiden johtajan ja käytön johtajan on lisäksi tiedettävä käytössä olevat sähköturvallisuutta koskevat vaatimukset ja pidettävä tietotasonsa tämän suhteen ajan tasalla. [8. s.54, 9. s.12- 16, 10]



### 3. RÖYTTÄ INDUSTRIAL GRID JA OUTOKUMPU TORNIO WORKS

RIG eli Röyttä Industrial Grid tehtävänä on kunnossapidon ja verkon operoinnin lisäksi toimittaa häiriötöntä ja laadukasta sähköä maailman suurimman yhtenäisen ruostumattoman teräksen valmistusketjulle Outokumpu Tornio Worksille. RIG:n hallinnoiman verkon suuruutta voidaan vielä havainnollistaa sillä, että sen läpi siirretään Suomen suurimman sähkökuluttajan sähköenergia vuotuisella 3 TWh:n energiamäärällä. Haastavuuden RIG:n henkilöstölle, järjestelmälle ja laitteille tuovat lisäksi Outokummun prosessien aiheuttama suuri tehonvaihtelu ja olemassa olevien laitteistojen harvinaisuus.

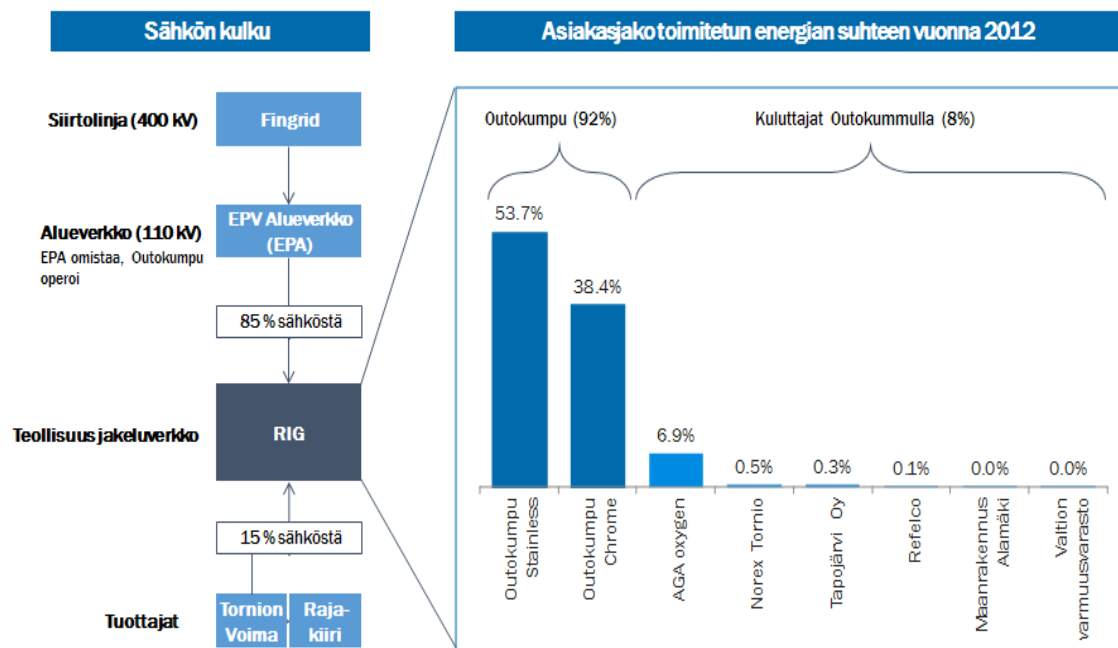
#### 3.1 RIG Oy Tornion terästehtailla

RIG Oy, OFI InfraVian tytäryritys on perustettu syksyllä 2013 Outokumpu Tornio Worksin luopuessaan sisäisestä sähköverkostaan ja ulkoistaessaan verkon operoinnin ja kunnossapidon. [11] Nimensä mukaisesti RIG sijaitsee Outokummun tehdasalueella Tornion Röyttässä. RIG:n liikevaihto vuonna 2014 13 kk:n ajalta oli 13 792 000 €, liikevoiton tulos 6 999 000 € ja omavaraisuusaste 59 %. Kauppa teollisuusverkostosta laitteistoihin syntyi 63 M €:n kauppasummasta.

RIG Oy kuuluu Aurora Infrastructure Oy portfolioon, johon kuuluu myös Porvoon Kilpilahdessa sijaitseva KED eli Kilpilahti Electricity Distribution. KED asiakkaisiin kuuluvat mm. Nesteen, Agan ja Borealoksen jalostamot. Aurora Infrastructure on strategiseen infrastruktuuriin ja sähköverkkoihin sijoittava yhtiö, jonka omistavat InfraVian, Access Capital Partners ja Pantheonin rahastot. RIG:llä työskentelee päivittäisesti kuusi henkilöä laajan alihankkijaverkoston lisäksi ja kokonaisuudessaan Auroralla noin 20 henkilöä. RIG:n työntekijät ovat aiemmin työskennelleet Outokummun palveluksessa, mutta kaupan seurauksena he (5 työntekijää) ovat siirtyneet RIG:n palvelukseen. [12]

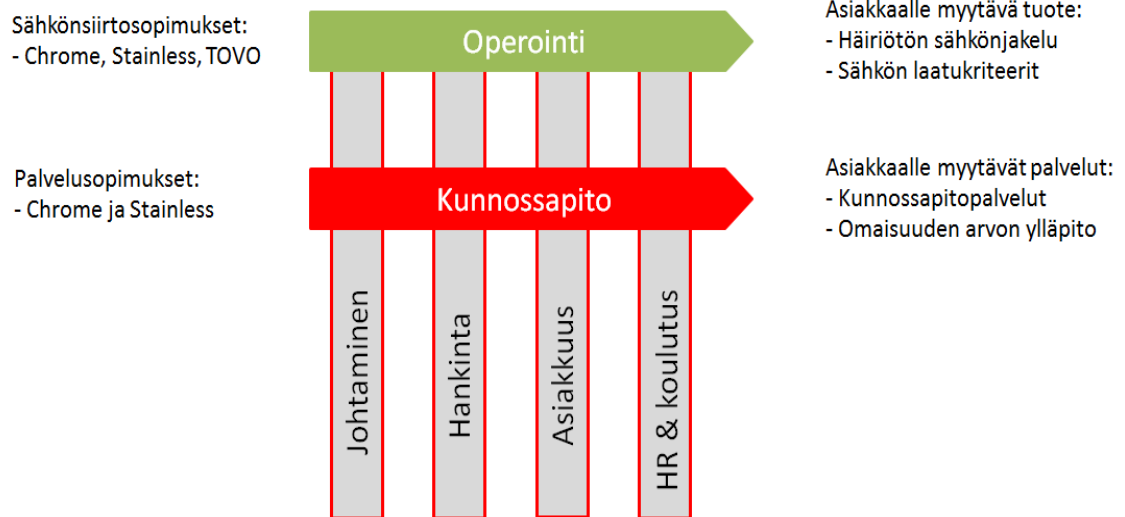
RIG:n tuotteita ovat Outokummun tehdasalueella olevan verkon operointi, sähkön siirtoon käytettävien laitteiden kunnossapitopalvelut ja siirrettävä sähköenergia. Tavoitteena RIG:llä on toimittaa suurimman asiakkaan roolissa olevalle Outokummulle häiriötön sähköjakelu teräksen valmistusprosessiin, huomioiden sähkön laadulle asetetut kriteerit. Tavoitteiden saavuttamiseksi RIG:llä seurataan toimintansa laatua säännöllisesti, johon on asetettu konkreettiset mittarit raja-arvoineen: poikkeamiin reagoidaan nopeasti, henkilöstöä koulutetaan useilla menetelmillä kuten investointiprojekteilla, koulutuksella tehtävälalueiden muutoksilla ja työnkierroilla. [13]

Suurimmat sähkösiirto- ja palvelusopimusten piiriin kuuluvat asiakkaan tehdasalueella ovat Outokumpu Chrome ja Outokumpu Stainless. Näiden lisäksi sähköjakelun piiriin tehdasalueella kuuluu muutamia pienempiä sähkökuluttajia, joita on esitetty kuvassa 4. RIG:n sähköverkko koostuu muuntajista, kaapeleista, kojeistoista ja kentistä, sähköasemista ja valvomoista, Suomen monimutkaisimmista kompensointilaitteista ja sähköön ohjaus- ja valvontajärjestelmistä sekä varavoimalaitteista. Liitteen 1 kuvassa on esitetty tehdasalueen jakelukaavio yksinkertaistetussa muodossa. Järjestelmän tarkempaa kuvasta laitteiston osalta käsitellään kappaleessa 6 (Varaosien hallinta ja lukumäärät RIG:llä).



**Kuva 4.** Sähkönkäytön jakautuminen suurimpien käyttäen kesken Outokummun tehdasalueella. [14]

Häiriöttömän ja laadukkaan sähköntoimituksen peruskiven muodostavat ammattitaitoinen ja ajan tasalla pidettävä henkilöstö sekä omaisuuden jatkuva kunnossapito- ja kehittämistoiminta. Kuvassa 5 on esitetty prosessikarttamaisesti RIG:n ja Outokummun sopimukseen kuuluvat osa-alueet. [15, 16] Outokummun tehdasalueella toimittaessa on RIG sitoutunut noudattamaan Outokummun asettamia sääntöjä liittyen turvallisuuteen, uusien henkilöiden kouluttamiseen ja perehdyttämiseen sekä yleisiin toimintatapoihin. Perustan näille toiminnoille muodostavat ympäristö-, turvallisuus ja laatujärjestelmät, joita jatkuvasti edelleen kehitetään. [13]



**Kuva 5.** RIG:n ja Outokummun sopimukseen kuuluvat osa-alueet. [15]

Tarkasteltaessa RIG:n merkittävimpiä eroavaisuuksia tavanomaiseen verkkoyhtiöön, on yhtenä näistä RIG:n kuulumattomuus regulaation piiriin. Regulaatiolla tarkoitetaan luvanvaraisen verkkotoiminnan valvontaa, jossa seurataan siirtohinnoittelun kohtuullisuutta (minimi- ja maksimituottoa) ja näin pyritään takaamaan kuluttajalle kohtuullinen hinnoittelu. Regulaation piirissä olevan verkkoyhtiön sallitun tuoton suuruuteen vaikuttavat muun muassa verkkotoimintaan sitoutunut pääoma, sähköverkon nykykäyttöarvo, verkkokomponenttien pitoajat ja keski-ikä tiedot sekä erilaiset kannustimet, jotka liittyvät laatuun, kehittämiseen, investointeihin ja tehostamiseen. RIG:n sallitun tuoton suuruus, keskeytyksistä maksettavat korvaukset ja vastualueet pohjautuvat asiakkaan kanssa solmittuun sopimukseen. [17]

### 3.2 Tehdasverkon operointi

Verkon operoinnilla tarkoitetaan toimintoja, joilla verkkoa ohjataan ja säädetään siten, että toimitettu palvelu ja tuote vastaavat sovittua. Kaikelle sähköverkkotoiminnalle lähtökohdan muodostavat kauppa- ja teollisuusministeriön päätökset, standardit ja lainsäädännöt sekä muut viranomaisvaatimukset. Verkon tekniselle rakenteelle ja toiminnalle vaatimukset syntyvät asiakkaan tarpeista ja vaatimuksista. RIG:n tehdasverkon vaatimukset syntyvät Outokummun vaativista prosesseista. Prosessien tehovaihtelut ja huipukuormat ovat suuria, josta seuraa järjestelmän korkea mitoitusaso ja tavanomaiseen jakeluverkkoon nähden matalampi huipunkäyttöaika. Kuormitukset ovat myös hyvin poikkeavia tavanomaiseen jakeluverkkokuormitukseen nähden, koska kuormituksina on valokaari- ja ferrokromiuunia sekä useita kelain- ja uunikäyttöjä. Edellä mainitut kuormitukset asettavat loistehon- ja jännitteensäädölle korkeat vaatimukset. Myös valokaariuunien, puolijohdetekniikalla toteutettujen käyttöjen, moottorien sekä muuntajien ai-

heuttamiin yliaaltojen suodatuksen käytettävälle laitteistolle asetetaan korkeat vaatimukset.

Poikkeavimpana ja haastavimpana kuormana edellä mainituista kohteista voidaan tehdasalueella pitää valokaariuunია. Valokaariuunien aiheuttamat häiriöt syntyvät kuorman epäsymmetriasta vaiheiden välillä. Uunin ottama pätö- ja loisteho vaihtelevat muutamman hertsin taajuudella, minkä seurauksena syntyy suuri jännitevaihtelu. Jännite elektrodin välillä on satojen voltin luokkaa virtojen noustessa jopa kiloampeeriluokkiin. Valokaariuunin virta vaihtelee nopeasti tämän ollessa hyvin säröytynyttä, tuottaen harmonisten yliaaltojen lisäksi epäharmonisia yliaaltoja sekä alla 50 Hz:n taajuisia virtoja. [18. s. 15]

Tehdasverkon toimiessa suunnitellusti ja oikein, eivät käyttötoimenpiteet aiheuta toimenpiteitä. Järjestelmä toimii kompensointien, jännitteen säätöjen, yliaaltojen suodatuksien ja suojauksien osalta automaation ohjaamana. Kytkevien tai säätöjen tekeminen RIG:llä tapahtuu valtaosin valvomasta Netcontrol-kaukokäyttöjärjestelmän avulla, mutta tarvittaessa järjestelmää on mahdollista ohjata VPN-yhteyden kautta etäältä. Tällöin toimenpiteet ovat osittain rajoitettuja. Etäyhteyden kautta tehtävät toimenpiteet helpottavat päivystäjän työtä ja ne myös nopeuttavat järjestelmän palauttamista normaaliin tilaan, mikäli kyseessä on esimerkiksi kuittausluontoinen tehtävä. Kaukokäyttöjärjestelmän avulla voidaan seurata kohteiden virtoja, jännitteitä, tehoja, kulmaeroja sekä tallentaa dataa ja dokumentteja verkkotoiminnasta. Järjestelmästä löytyy myös tapahtuma- ja hälytyslistat. Koska toimenpiteet on mahdollista suorittaa verkkoyhteyden kautta, on tietoturvaan myös kiinnitetty huomioita. Mahdollisen uhkatilanteen syntyessä, kaukokäyttöjärjestelmä voidaan irrottaa etäyhteyden avulla verkosta.

### **3.3 Tehdasverkon kunnossapito sekä vika- ja vauriotilanteiden korjaus**

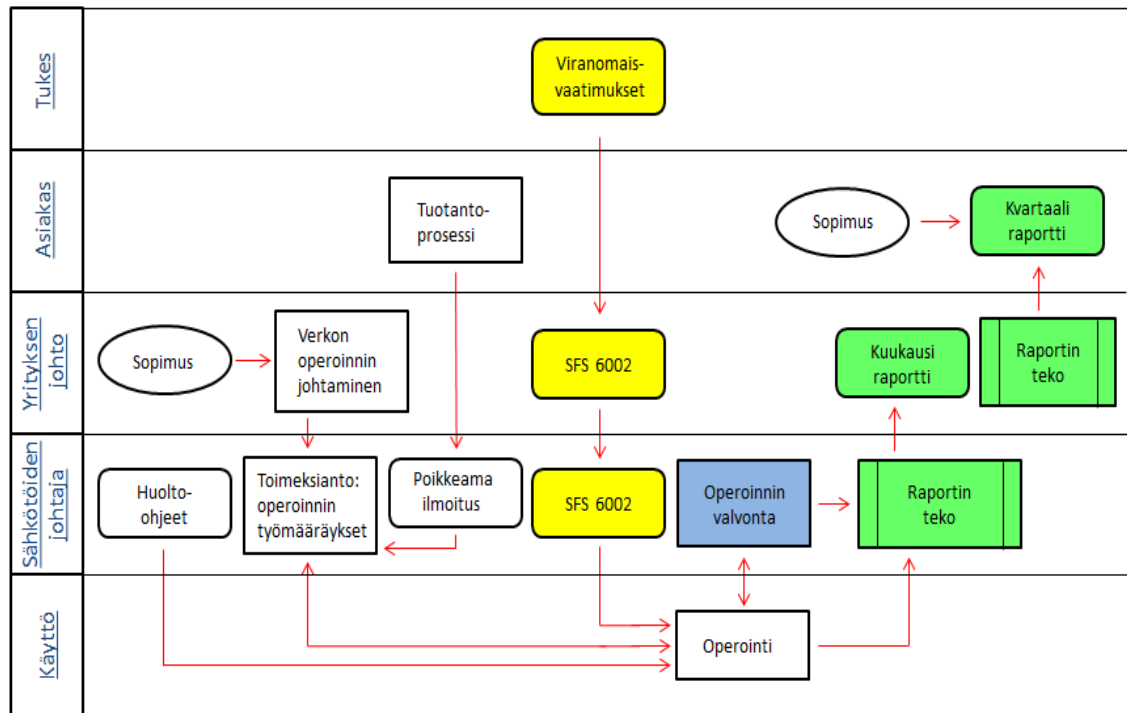
Jotta järjestelmä saadaan pidettyä suunnitellussa toimintakunnossa, täytyy tälle tehdä jatkuvaa kunnonvalvontaa ja kunnossapitoa. Valtaosa järjestelmälle tehtävistä toimenpiteistä ovat tarkastus- ja puhdistusluontoisia, joissa tarkastetaan kohteen sähköinen ja mekaaninen toiminta erilaisin visuaalisin menetelmin. Visuaalisten menetelmien lisäksi järjestelmän osille tehdään myös mittaavaa kunnossapitoa. RIG:llä mittaavaa kunnossapitoa tehdään kojeistoille, muuntajille, kompensointilaitteille (keskukset, kelat ja reaktorit sekä kondensaattorit). Mittaavaa kunnonvalvontaa tapahtuu on-line ja off-line tyyppisesti sekä jatkuvana että jaksotettuna. Jatkovaa kunnonvalvontaa käytetään erityisesti kriittisimmillä ja kalliimmilla laitteilla. Esimerkki tällaisesta ovat uunimuuntajat, joiden öljyjen kaasupitoisuuksia seurataan jatkuvasti ja mahdollisesta raja-arvoja ylittävästä poikkeamasta saadaan hälytys kaukokäyttöjärjestelmään. Joitakin mittaavia kunnonvalvontamenetelmiä RIG:llä tehdään myös vikatilanteiden jälkeen. Esimerkkinä tällaisesti

tilanteesta voidaan käyttää katkaisijaa, jolla on tietty määrä laukaisuja takana. Mittaavissa kunnonvalvontamenetelmissä saatu tulos ei välttämättä kerro mitään, vaan täytyy olla jokin referenssiarvo johon tätä verrataan. Referenssiarvo voi tulla valmistajan suosituksista, asentajan kokemuksesta tai aiemmin suoritetuista mittauksista.

RIG:n tekemät kunnonvalvonta- ja kunnossapitotoimenpiteet tehdään valtaosin aikaan perustuen, joka saadaan valmistajan suosituksista ja viranomais määräyksistä. Etenkin vanhoille tai heikkokuntoisille laitteille on aikaan perustuvan kunnonvalvonnan lisäksi otettu käyttöön kuntoon perustuva kunnonvalvontamenetelmä. Tämä menetelmä on järkevä, koska mitä vanhemmaksi laitteisto tulee, sitä todennäköisempää laitteen rikoontuminen on. Joillakin laitteilla kunnonvalvonta perustuu toimintakertoihin. Tällaisia ovat muun muassa katkaisijat ja erottimet. Tyypillisiä kunnonvalvonta- ja kunnossapitotoimenpiteitä ovat katkaisija- ja erotinhuollot, lämpökuvaukset, suodattimien vaihdot, muuntajien huollot, puhdistukset, relekoestukset, ilmankuivaimien vaihto, paristojen vaihdot, maadoitus- ja kondensaattorimittaukset, varmuuskopioinnit sekä paloilmointilaitteistojen ja poistumistievalojen toiminnan tarkastukset. [19]

Oman henkilöstön lisäksi RIG käyttää kunnossapito- ja kehittämistoimien suorittamisessa laajaa alihankkijaverkostoa, johon kuuluu mm. ABB, Fortum, Siemens ja M-Technology. Kunnonvalvonta- ja kunnossapitotöiden vuotuista tunti- tai kappalemäärää ei voida tällä hetkellä tarkalleen määrittää, koska tehtyjen töiden raportointi ei ole ollut käytössä kovin pitkään. Tämä johtuu vasta muuttuneista omistussuhteista sekä kunnossapitojärjestelmän käytössäoloajasta. Tällä hetkellä töitä tehdään myös rästistä, jonka vuoksi määrä ei ole vielä vakiintunut. Kunnossapitotyöt kohdistuvat valtaosallisesti seuraaviin laitteistoihin: 110 kV GIS, 110 VDC apujännitelaitteet, 6-33 kV kojeistot, rakennukset, kuuma- ja kylmävalssaamon erikoismuuntajat, kompensattorit, 6-33 kV jakelumuuntajat, uunikatkaisijat ja -kojeistot, päämuuntajat (110/20 kV) ja suojareleet. Kuvassa 6 on esitetty kunnossapitoa ohjaavat tekijät.

Siitä huolimatta, että järjestelmää operoi ja kunnossapitää ammattitaitoinen ja ajan tasalla oleva henkilöstö, ei vikoja ja vaurioita aina voida välttää. Viat voivat olla seurausta laitteen vanhenemisesta, luonnonilmiöistä, vääränlaisesta käytöstä tai inhimillisestä erehdyksestä. Valtaosa vioista, jotka ilmenevät RIG:n tehdasverkossa, saadaan korjattua kuittausluontoisilla toimenpiteillä, mutta aina näillä ei kuitenkaan selvitä. Tavanomaisimpia, korjausta vaativia vikatapauksia ovat kompensoinnissa olevien kondensaattorien, ohjauskorttien tai tyristori- ja transistoriventtiilien vaurioituminen. Myös tietotekniikkaan, suojaukseen, kaapelipäätteisiin, sekä alkujaan erilaisiin pienempiin vikoihin, jotka ovat aiheuttaneet suuremman vaurion, ilmenee aika-ajoin. Suurimmilta osin vioista selvitään omin voimin, mutta välillä joudutaan turvautumaan ulkopuoliseen apuun. Tällaiset tapaukset ovat aiemmin liittyneet 110 kV kaapeleiden jatkosten tekemiseen, erikoismuuntajiin sekä kaasu- ja tyhjiöeristeisiin katkaisijoihin.



**Kuva 6.** Kunnossapitoprosessia ohjaavat tekijät. [15]

Joihinkin kohteisiin RIG on ostanut myös tukipalvelun. Esimerkki tällaisesta on valo-kaariuuni 2:n kompensointia suorittava SVC-light kompensointiyksikkö. Vaikeuden vaurioiden korjaamiseen aiheuttaa yleensä varaosien saatavuus ja korjaustoimenpiteiden suuret järjestelytoimenpiteet. Tilauksesta tehtävien yksilöllisten varaosien kuten kelojen ja kondensaattoreiden toimitusaika voi olla useita kuukausia. Harvinaisemmat varaosat tilataan pääosin laitetoimittajien kautta. Kriittisimpiin varaosiin, kuten ohjauskortteihin, kaapelipäätteisiin ja -jatkoksiin, kondensaattoreihin, suojareleisiin, tyristori- ja transistoriventtiileihin sekä pientarvikkeisiin RIG:llä on varauduttu. Kunnossapitojärjestelmään kirjattuja varaosakohteita on noin 600 kpl. Varaosavarastojen arvoksi on arvioitu noin 10 M €, josta pienten ”kädessä kannettavien” osuus on noin 1.5 M €. Tehdasverkossa on myös komponentteja joihin ei enää saada varaosia, vaan edessä on kohteen modernisointi. Tällaisia ovat esimerkiksi 70-luvulla tulleet ASEA:n katkaisijat. Modernisointia kuitenkin tapahtuu koko järjestelmän osalta koko ajan huomioiden prioriteetit. Tehdasverkkoon tehtäviin investointeihin vaikuttavat merkittävästi tehdasalueen tuotantoon liittyvät investoinnit lähialueella olevan sähkön tuotannon ja käytön kehittyminen. [11]

Dokumentoimalla kuntotiedot voidaan muodostaa todellinen kuva verkon nykytilasta ja kohdistaa investoinnit sinne missä niitä tarvitaan. Kuntotietojen pohjalta muodostetun verkkokuvan avulla investoinnit perustuvat todelliseen tietoon, eikä pelkästään oletuksiin ja kuvitelmiin. RIG:llä kunnonvalvontaan ja kunnossapitoon liittyvät tiedot arkistoidaan M-Technologyn valmistamaan WiseMaster Flow kunnossapitojärjestelmään. Aiemmin vika- ja häiriötiedot kirjoitettiin päiväkirjoihin. Dokumenttienhallinnasta vastaa Econocapin valmistama CISS Base.

### 3.4 Outokumpu Tornio Worksin prosessi

Outokummun teräksen valmistusprosessi saa alkunsa Kemin kaivoksesta louhituista kromirikasteista. Louhoksista louhittu malmi murskataan ja siirretään hihnakuljettimilla esimurskesiiloihin, jonka jälkeen malmi ohjataan mittataskun kautta nostokappaan. Malmi nostetaan kapassa kuilun kautta nostotornin purkusiiloon, josta se syötetään rikastusprosessiin. Rikastusprosessissa kromimalmi rikastetaan pala- ja hienorikasteiksi. Ensimmäisessä vaiheessa, murskaamalla malmi murskataan ja seulotaan jatkoprosesseja varten 12-100 mm:n kappalekokoon. Palarikastamalla malmista erotetaan raskasväliaineprosessilla palarikaste. Hienorikastamalla malmi ensin hienonnetaan tanko- ja kuulamylyssä, jonka jälkeen varsinainen prosessointi tapahtuu painovoimarikastusmenetelmällä käyttäen spiraaleja ja Reichert-kartioerottimia. Osa malmista rikastetaan lisäksi vahvamagneettisella erotusmenetelmällä. [20. s. 6-7, 21. s. 1]

Kemin kaivokselta louhitut rikasteet kuljetetaan Tornion ferrokromitehtaalle. Ferrokromitehtaan prosessiin kuuluu sintraamo ja sulatusuunit. Sintraamalla hienorikaste ensin jauhetaan ja pelletoidaan, jonka jälkeen pelletit sintrataan sintrausuunissa, missä ne kovettuvat ja ovat valmiita sulatukseen. Sintrausuunin lämpöenergia saadaan hääkäasuun ja pelletteihin sekoitettavan koksipölyn poltolla ja energiankulutus minimoidaan kierrättämällä kuumia poistokaasuja. Sulatusuuneista tuleva metalli lasketaan valusenkkoihin ja kuona poistetaan granuloimalla. Ferrokromin piipitoisuus analysoidaan metallisulasta otetusta näytteestä ja tulos raportoidaan välittömästi terässulatolle kromikonvertterin prosessin optimoimiseksi. Valtaosa ferrokromitehtaan tuotannosta kuljetetaan automaattijunilla terässulatolle. Osa ferrokromista, jota ei tarvita terässulatolla, kaadetaan valukouruihin, joissa se jäähdytetään ja murskataan. Kiinteä ferrokromi varastoidaan myöhemmää käyttöä varten tai myydään kansainvälisille markkinoille. [20. s.7-8, 21. s.2]

Terässulaton tuotanto alkaa raaka-ainevarastolta, josta tarkoin lajiteltu kierrätysteräs tarvittaessa kuivatetaan ja kuljetetaan sulattolinjoille. Sula ferrokromi, joka saapuu ferrokromitehtaalta, kaadetaan ferrokromikonvertteriin, jossa sulasta poistetaan pii ja osa hiilestä. Terässulatolla valokaariuuniin panostetaan kierrätysterästä ja muita raaka-aineita, jonka jälkeen tämä sulatetaan. Kun panos on sulanut ja kuona poistettu, sula sekoitetaan ferrokromisulaan ja siirretään senkassa sulaton sydäminä toimiviin AOD-konverttereihin, joissa sulasta poistetaan hiili ja rikki. Konvertterista sula teräs siirretään senkoissa senkka-asemille, missä siihen voidaan vielä lisätä pieniä määriä kierrätysterästä ja muita seosaineita, jotta saavutetaan asiakkaan tilaama loppukoostumus. Senkka-asemilla täsmätään myös seoksen valun edellyttämä lämpötila. Senkka-asemilta sula teräs siirretään jatkuvavalukoneille. Koneissa sula jähmettyy ja se katkaistaan teräsaihi-oiksi. Jatkuvavalukoneella voidaan valaa keskeytyksettä useita senkallisia sulaa terästä. Aihoiden mahdolliset pintaviat korjataan hiomalla. Hiomon neljästä hiomakoneesta kahdella voidaan aihiot hioa kuumina. Valtaosa aihioista kuljetetaan lämpöeristetyissä vaunuissa kuumina suoraan kuumavalssaamon prosessiin, osa jäähdytetään ja varastoi-

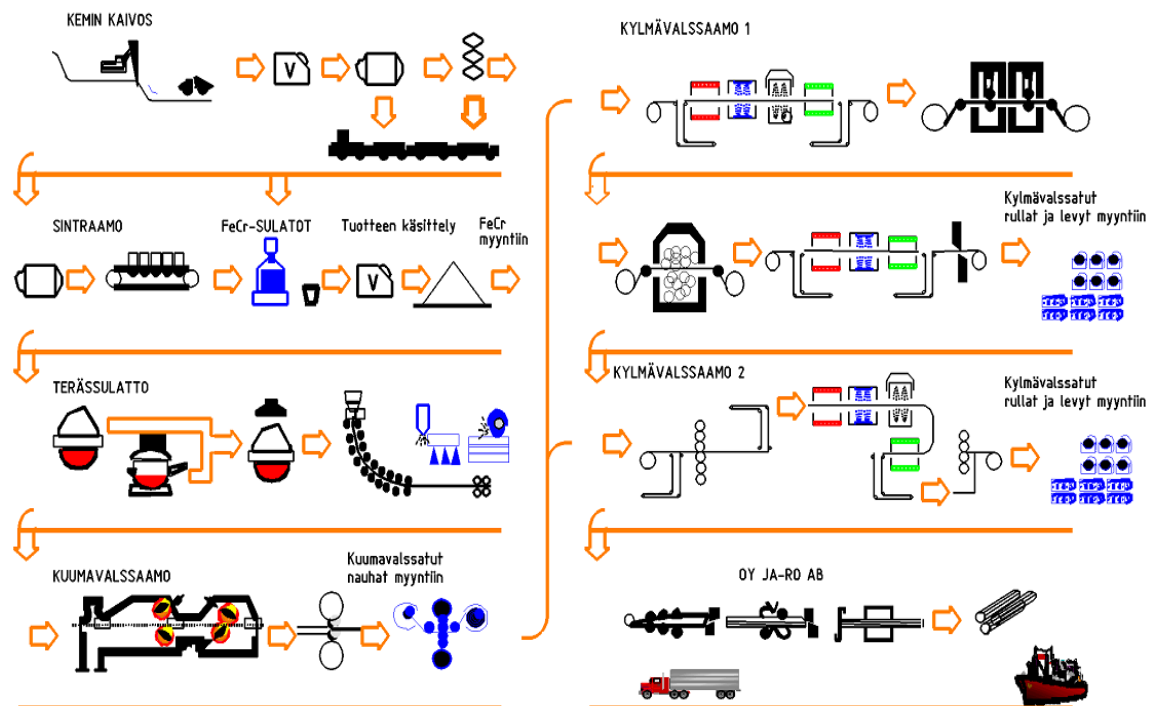
daan aihiohalliin odottamaan jatkokäsittelyä. Terässulaton tuotteena ovat aihiot joiden leveys on 800-1620 mm, paksuus 167-185 mm ja pituus noin 14 m. [20. s.8-9, 21. s.3]

Terässulatussa valetut aihiot panostetaan kuumavalssaamalla askelpalkkiuuneihin, joissa niiden lämpötila nostetaan valssaamista varten. Tämän jälkeen kuuma aihio siirretään askelpalkkiuunista rullaradalle ja sitä pitkin etuvalssaimelle, jossa aihiota valssataan edestakaisin. Alkuaan noin 14 metrin pituinen, 180 mm:n paksuinen aihio muuttuu etuvalssaimen käsittelyssä noin 100 metrin pituiseksi, 22 mm:n paksuiseksi nauhaksi. Sattametrinen nauha siirretään rullaradalla Steckel-tyyppiselle nauhavalssaimelle. Edestakaisen valssauksen aikana nauha siirtyy kelainuunilta toiselle lämpötilan pitämiseksi mahdollisimman korkeana. Steckel on kuusivalssaiminen valssain, jossa työ- ja väli-valsseja voidaan siirtää sivusuunnassa, jolloin saavutetaan parempi paksuuden, profiilin ja tasomaisuuden säätö. Steckel-valssaimelta nauha siirtyy kelaimelle, jonka jälkeen rullat jäähdytetään jäähdytysaltaissa ja siirretään jatkokäsittelyksi kylmävalssaamolle. Kuumavalssaamon tuote on 1–1,6 metrin levyinen ja alle 12 mm:n vahvuinen musta, hilsepintainen teräsnauha. Suurin osa kuumavalssaamon teräsnauhasta siirtyy jatkokäsittelyksi kylmävalssaamoon. [20. s.9-10, 21. s.4]

Kuumavalssaamalla valssattu musta nauha kuljetetaan kylmävalssaamon hehkutus- ja peittauslinjalle, jossa nauha hehkutetaan hehkutusuunissa niin pehmeäksi, että sen rakenne tasaantuu. Seuraavaksi nauha jäähdytetään, ja oksidikerros rikotaan kuulapuhalluksessa. Elektrolyytti- ja sekahappopeittauksilla nauhan pinnasta liuotetaan loput oksidikerroksesta sekä pintaan syntynyt kromiköyhä kerros. Hehkutus- ja peittausprosessissa kuumanauhan pinta muuttuu mustasta kirkkaaksi. Tämän jälkeen nauha valssataan lopulliseen paksuuteensa Sendzimir-valssaimella, missä nauhaa voidaan ohentaa peräti 80 %. Kylmävalssauksessa teräs lujittuu joten se on vielä hehkutettava ja peitattava, jolloin sen muovattavuus palautuu ja saa asiakkaan tilaamat lujuusominaisuudet. Kylmävalssauksen jälkeinen hehkutus ja peittaus on vastaava prosessi kuin ennen kylmävalssausta, mutta kuulapuhallusta ei enää tarvita kylmävalssatuille nauhoille. Kylmävalssattu, hehkutettu ja peitattu teräsnauha valssataan vielä kevyesti viimeistelyvalssaimilla joka parantaa nauhan sileyttä ja tasomaisuutta. Tarvittaessa nauha voidaan ajaa vielä venytysoikaisulinjan kautta, jossa parannetaan nauhan tasomaisuutta edelleen. Lopuksi teräsnauhat leikataan tilattuihin mittoihin, joko kapeammiksi nauhoiksi tai levyiksi halkaisu- ja katkaisulinjalla. Ennen asiakkaalle lähtöä tuote pakataan ja varastoidaan korkeavarastoon. [20. s.10-11, 21. s.4]

Kylmävalssaamo 2 (RAP), joka otettiin käyttöön vuonna 2003, toimii vastaavasti kuten kylmävalssaamo 1, mutta kylmävalssauksen kaikki vaiheet ovat sijoitettu peräkkäin. Nauhaa voi olla RAP-linjassa voi olla jopa 4 km. Kylmävalssaamoiden lopputuotteita ovat ruostumattomat ja haponkestävät teräslevyt ja -nauhat. Niistä suurin osa myydään Eurooppaan ja Aasiaan. [20. s.11] Kuvassa 7 on esitetty Outokumpu Tornio Worksin yksinkertaistettu prosessikaavio.





**Kuva 7.** Outokumpu Tornio Worksin yksinkertaistettu prosessikaavio. [22]

## 4. RIG:LLÄ KÄYTÖSSÄ OLEVAT TIETOJÄRJESTELMÄT

Siirrettävän informaation määrä ja kriittisyys sähkönjakelussa kasvavat koko ajan. Tämän vuoksi oikeanlaisilla IT-verkkojen rakenteilla ja tiedonsuojausmenetelmillä on entistä suurempi painoarvo. Nykyaikaiseen sähkönjakeluun liittyy myös useita tietojärjestelmiä, jotka voivat liittyä tietojen hallitsemiseen, käsittelyyn tai välittämiseen. Esimerkkejä tällaisista ovat muun muassa kunnossapito- ja dokumenttienhallintajärjestelmät. Seuraavissa kappaleissa käsitellään RIG:llä käytössä olevaa IT- ja kunnossapitajärjestelmää sekä dokumenttien hallintajärjestelmää.

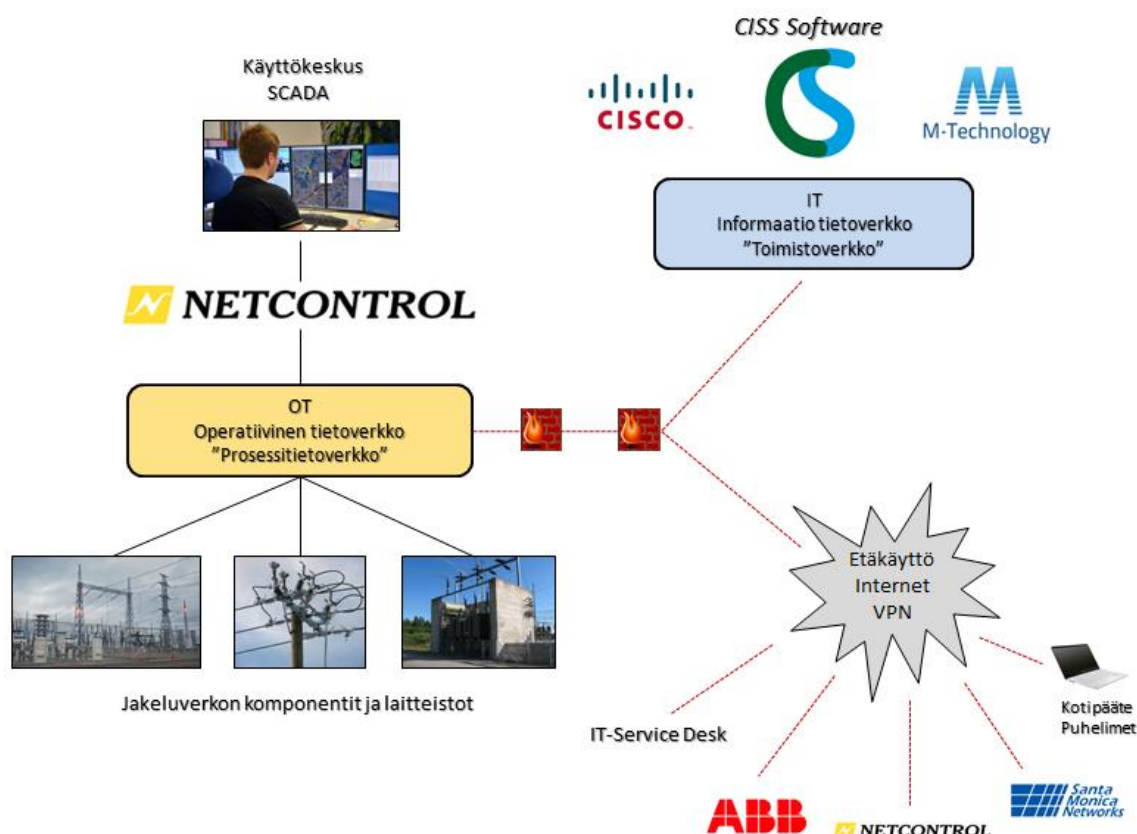
### 4.1 IT-infrastruktuuri ja tietoturvallisuus RIG:llä

IT-infrastruktuurilla tarkoitetaan laitteistojen yhdistelmiä, ohjelmistoja, verkon voimavaroja ja vaadittujen palveluiden olemassaoloa sekä yrityksen IT-ympäristön käyttöä ja hallintaa. Sen tarkoituksena on mahdollistaa IT-ratkaisut ja -palvelut työntekijöiden, kumppaneiden ja asiakkaiden käyttöön. [23] Nykyisessä yhteiskunnassa tietoturvasuuteen liittyvät ongelmat ovat kasvaneet ja ne kohdistuvat entistä laajemmalle alueelle sähkönjakelun ollessa yksi mahdollinen uhkien kohde. Esimerkkejä tietoturvauhista ovat luvaton pääsy, tiedon luvaton käyttö, salaisen tiedon paljastuminen, tiedon sekaannus ja muuntuminen, salaisen tiedon tutkimiseksi tuleminen, tiedon kopioiminen ja tiedon hävittäminen. [24] RIG:llä tietoturvasuuteen verkkotoiminnassa on keskitytty monella tapaa, näitä ovat muun muassa henkilöstön perehdyttäminen ja kouluttaminen tietoturvaan ja -käyttäytymiseen, tarpeettomien toimintojen ja käyttöoikeuksien rajaaminen, tietojen tallentaminen omille verkkolevyille, informaatioverkon pilkkominen useaan osaan sekä asianmukainen varmennus-, virustentorjunta- ja palomuuritekniikan.

Teollisuudessa tietoverkolle asetetaan korkeat vaatimukset niin toimivuuden kuin luotettavuuden osalta, koska vahingot ja keskeytyksistä aiheutuneet kulut ovat suuria. RIG:n tietoverkko koostuu usean toimittajan ohjelma-, palvelu- ja laiteintegraatiosta. RIG:llä järjestelmän luotettavuutta ja toimivuutta on parannettu kahdentamalla järjestelmä, erottamalla operatiivinen ja informatiivinen tietoverkko, pilkkomalla informaatio tietoverkko useaksi pienemmäksi VLAN-verkoksi ja ottamalla käyttöön riittävän kapasiteetin omaavia yhteyksiä. [25]

Järjestelmän kahdennus koskee informaatioverkkoa, operatiivista tietoverkko sekä yhteyksiä ulkoverkkoon (kahden erin operaattorin kautta). Myös palvelimet ovat kahdennet-

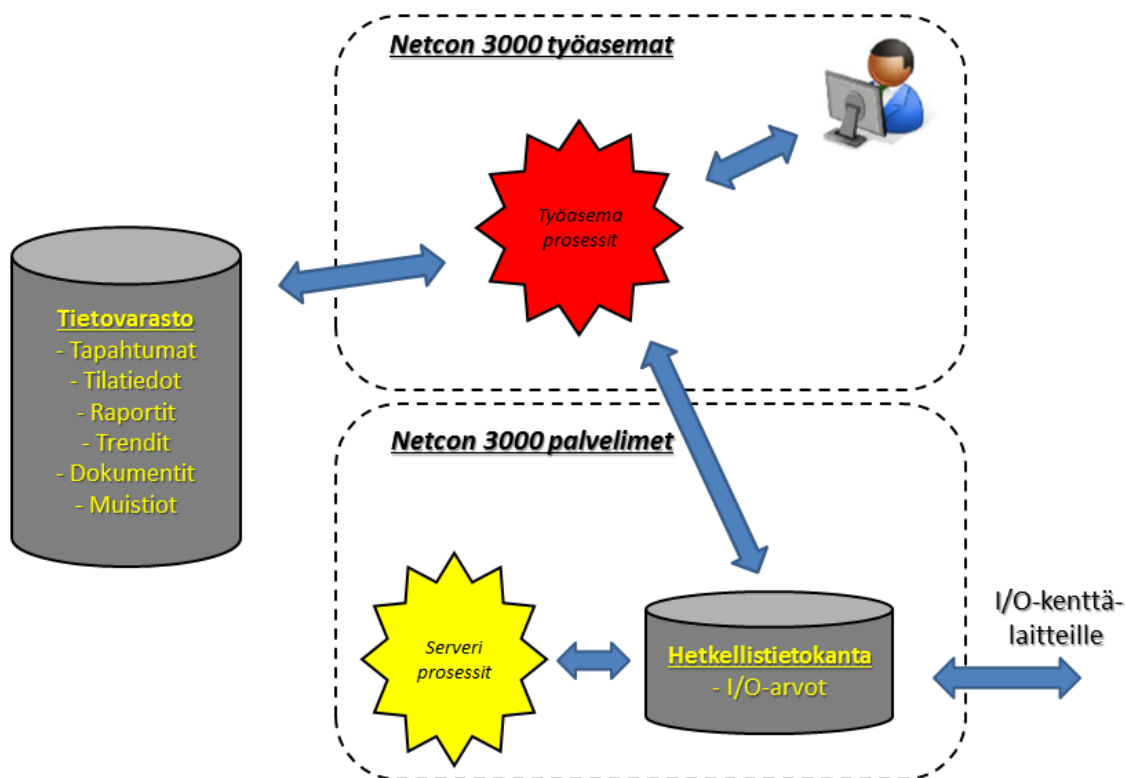
tuja ja nämä löytyvät kahdesta salista. Palvelimien kahdennuksen etuna vahinkotilanteen lisäksi on järjestelmän käytettävyys huollon aikana. Operatiivisen verkon ja informaatioverkon erottamisen tarkoituksena on suojata tehtaan prosesseissa siirrettävää tietoa. Operatiivinen verkko koostuu monesta eristä loogisesta verkosta, jotka ovat suojattu palomuuerein. Informaatioverkon pilkkomisella saavutetaan tietoturvatason kohentamista, suuren verkon parempaa hallittavuutta ja ylläpidettävyyttä. Riittävän kapasiteetin omaavat yhteydet ovat yksi järjestelmän peruskivistä siirrettävien tietomäärien ollessa suuria. Tiedonsiirto tapahtuu valtaosin valokuitukaapeleita pitkin, mutta käytössä ovat myös puhelinverkko-, väylä- ja johdinpariyhteydet. Näillä yhteyksillä tiedonsiirtoverkon kapasiteetti vaihtelee välillä 10 Mb/s ja 10Gb/s. Siirrettäviä tietoja ei ole priorisoitu millään tavalla, koska yhteyksissä kulkee vain SCADA-liikenne (System Control And Data Acquisition). Langattomat tiedonsiirtoyhteydet rajoittuvat internet-käyttöön, koska tehdasalueella esiintyy paljon eri taajuuksia. Korkean tietoturvapoliitiikan seurauksena järjestelmän kuvaaminen tarkasti ei ole mahdollista, jonka vuoksi järjestelmä on kuvattu periaatteellisella tasolla. Kuvassa 8 on esitetty RIG:llä käytössä olevan IT-verkon periaatteellinen kuva. [25]



**Kuva 8.** RIG:llä käytössä olevan IT-verkon periaatekuva. [26, 27]

## 4.2 Graafinen käyttöliittymä

Käyttöliittymällä tarkoitetaan ohjelmaa tai laitteen osaa, joiden kautta käyttäjä seuraa ja ohjaa ohjelman tai laitteen toimintaa saaden tietoa sen toiminnasta. Suppeammin esitetynä käyttöliittymällä tarkoitetaan ohjelman ihmiselle näkyvää osaa, jonka avulla käyttäjä ja ohjelma ovat vuorovaikutuksessa keskenään. [28] Tässä yhteydessä puhuttaessa graafisesta käyttöliittymästä, on kyseessä SCADA-järjestelmä. Sana SCADA tulee englanninkielien sanoista supervisory control and data acquisition, joka tarkoittaa suomeksi valvontaa, ohjausta ja tiedonkeruuta. Nimensä mukaisesti SCADA:n tehtävät liittyvät jakelu- ja tiedonsiirtojärjestelmien tilojen valvontaan, mittauksiin, tilojen ja tapahtumien osoitukseen, mittausdatan, tapahtumien ja hälytyksien käsittelyyn sekä asetusten ja säästöjen tekemiseen etäyhteyden kautta. [29] Kuvassa 9 on havainnollistettu SCADA-järjestelmän rakennetta.



**Kuva 9.** SCADA-järjestelmän rakenne. [30]

RIG:llä graafinen käyttöliittymä on oman henkilöstön toimesta rakennettu Netcontrol 3000 pohjalle. Järjestelmän ominaisuuksia ovat muun muassa reaaliaikaisen tiedon kerääminen, käsittely ja jakaminen, hajautettu käyttö usealta työpisteeltä, reaaliaikainen työasema/palvelinarkkitehtuuri, joka mahdollistaa skaalatuvuuden pienistä suuriin järjestelmiin (tietokantapisteitä yhdessä järjestelmässä voi olla sadoista miljooniin), kahdennettu prosessitietokartta, havainnollinen käyttöliittymä, monipuoliset raportointitoiminnot ja työnkuviin perustuvat käyttöoikeudet ja -vastuut. Järjestelmän ominaisuuksiin voidaan huomioida myös helppokäyttöisyys ja tehokas sovellusten luonti, valittava asiakasohjelma sekä tehostettu tietoturva. Järjestelmien tyypillisimmät käyttäjäkunnat työskentelevät yleensä sähkön tuotannossa, jakelussa ja siirrossa tai kaukolämmön tuotannossa. Netcon 3000 on avoin järjestelmä, joka käyttää standardeja, laajasti käytössä olevia laitteistoja, laiteohjelmia ja sovelluspaketteja. [30]

RIG:llä olevasta käyttöliittymästä käyttäjä voi seurata tehoja (lois-, pätö- ja näennäisteho), virtoja, jännitteitä ja kulutettua energiaa aina prosessitasosta lähtien. Järjestelmän kautta käyttäjällä on mahdollista valvoa ja ohjata tietyin rajoituksin kompensointeja, suojareleitä ja muuntajia. Järjestelmän kautta käyttäjällä on myös mahdollisuus ohjata syöttöjä (katkaisijat ja erottimet) ja seurata IT-verkkojen tiloja. Järjestelmässä on myös olemassa tapahtuma- ja hälytyslistat. Tapahtumalistoilta voi nähdä muun muassa katkaisijoiden ja erottimien tilatietoja, erilaisia käynnistys- ja pysäytystiloja sekä suojareleiden toiminnot ja havahtumiset. Tapahtumalistalla olevat toiminnot ovat ilmoituksia terveen verkon toiminnoista. Hälytyslistoilla olevat tapahtumat ovat yleensä ilmoituksia

vika- tai häiriöilmoituksista. Tällaisia voivat olla yhteysviat, suojareleiden laukaisut tai kaasujen paineet. RIG:llä graafinen käyttöliittymä muodostaa rajapinnan sähköasemien, kompensointien, suojareleiden kanssa. Kuvassa 10 on esitetty RIG:llä käytetyn graafisen käyttöliittymän tärkeimmät näkymät operaattorille.



**Kuva 10.** Graafisen käyttöliittymän päänäkymät RIG:n valvomosta

### 4.3 CISS Base dokumentinhallintajärjestelmä

Dokumentinhallintajärjestelmää käytetään dokumenttien elinkaaren valvonnassa ja ongelmien ratkaisussa, kun yrityksen dokumenttien määrä kasvaa suureksi. Dokumentinhallintajärjestelmän avulla tarkoituksena on saavuttaa henkilöstön osalta tehokkuutta ja parantaa tiedonkulkua ja -hakua. Myös organisaation turvallisuudessa saavutetaan parempi taso. [31] Dokumentinhallintajärjestelmien ominaisuudet ja toiminnot vaihtelevat paljon, mutta yhteistä kaikille on se, että ne tarvitsevat tietokannan tiedostojen tallentamista varten. Yleensä myös perusominaisuudet ovat järjestelmien välillä samoja, ja kohdentaminen tietylle käyttäjäryhmälle tapahtuu erityisominaisuuksien avulla. [32] Tyypillisiä perusominaisuuksia järjestelmälle ovat versioiden hallinta, tiedoston lukituminen, dokumenttien helppo löydettävyyden, oikeuksien hallinta, muutoksien hallinta ja helppokäyttöisyys. [33. s.12]

RIG:llä tiedonhallintaan käytetään Econocapin kehittämää CISS base tiedonhallintaohjelmistoa. Käsitteenä tiedonhallinta on laajempi kuin dokumenttienhallinta, ja puhuttaessa tiedonhallinnasta CISS Basen yhteydessä, on tällöin kyse dokumenttienhallinnasta ja kaikesta muusta tietokannassa ja talon muissa järjestelmissä olevan datan hyödyntämisestä. CISS Basen ominaisuuksia ovat:

- Tiedon kokoaminen yhdeksi hallituksi kokonaisuudeksi tiedon ollessa yhdessä paikkaa yhden kerran.

- Sähköpostihallinta, jonka avulla nämä ovat oikeissa kohteissa ja jopa oikeiden dokumenttien alla. Tällöin sähköpostit ovat niitä tarvitsevien käsillä.
- Järjestelmä on integroitu kaikkiin markkinoilla oleviin merkittäviin 2D- ja 3D CAD ohjelmiin. Tällöin version hallinta, tuoterakenteen hallinta jne. ovat hallinnassa
- Tiedon tai dokumentin automaattinen päivitys intranettiin.
- Käyttöoikeuksien hallinta, versioiden- ja väliversioiden hallinta.
- Projektien ja laitteiden ja niiden versioiden hallinta.
- Tehokkaat etsi-komennot normaalin hakuajan ollessa alle 10 sekuntia. [34]

CISS Baseen on saatavilla myös lisäosia, jotka voivat olla tarpeellisia tai jopa välttämättömiä. RIG:llä käytettävät lisäominaisuudet ovat CISS Base DOC ja tehdassuunnittelun tarpeisiin integroidut EcE-ohjelmat. RIG:n käytössä olevat EcE-ohjelmat ovat CISS PID, CISS Automaatio, CISS Sähkö, CISS PDM (mekaniikka) ja CISS 3D Pipe. Kaikki ohjelmat toimivat yhteen ja tiedon syöttäminen on tarpeen vain kerran. EcE-ohjelmista CISS PID mahdollistaa linja-, prosessi- ja PI-kaavioiden luonnin, CISS Automaatio soveltuu teollisuuden automaatio-suunnitteluun mahdollistaen toiminta- ja säätökaavioiden tekemisen, CISS sähköllä onnistuu sähkökuvien ja sähkösuunnittelukaavioiden piirto, CISS 3D Pipe mahdollistaa 3D-putkistosuunnittelun ja CISS PDM (mekaniikka) avulla pystytään tekemään 2D-suunnittelua ja viimeistelyä 3D-ympäristössä. CISS Base DOC -lisenssi puolestaan kattaa tärkeän osan CISS Basen tiedonhallinnasta, jolloin aiemmin luetellut ominaisuudet mahdollistuvat. CISS Basen tärkeänä etuna on järjestelmän helppokäyttöisyys ja selkeys, jonka vuoksi järjestelmä sopii erityisesti pienille yrityksille ja yrityksille, joilla ei ole IT-tukea. Etuna on myös järjestelmien muokattavuus, joka mahdollistaa ohjelman räätälöinnin käyttötarpeiden mukaan. CISS Basen käyttö onnistuu lähiverkossa tai internet-ympäristössä. RIG:llä CISS Base muodostaa rajapinnan kunnossapitajärjestelmän ja Easynettiin.

Econocap tarjoaa ohjelmistojen lisäksi palvelupaketteja liittyen ylläpitoon, koulutukseen, konsultointiin ja ohjelmien räätälöintiin. RIG:llä käytettyjä palveluita ovat ylläpitotosopimus, ohjelmien räätälöinti ja alkukoulutus, joka suoritettiin käyttöönoton yhteydessä. Ylläpitotosopimus tarjoaa uudet versiot ohjelmista ja mahdollistaa tuen käytön ongelmatilanteissa.

#### **4.4 WiseMaster Flow Maint kunnossapitajärjestelmä RIG:n käytössä**

RIG:llä kunnossapitajärjestelmänä toimii M-Technologyn valmistama WiseMaster Flow Maint. Järjestelmä on otettu käyttöön huhtikuussa 2015 ja järjestelmän kehittämistä ja laajentamista on tapahtunut koko ajan. Käytössä oleva järjestelmä on mobiilikunnossapitajärjestelmä, jonka avulla kunnossapitotiedot saadaan suoraan henkilöstön käy-

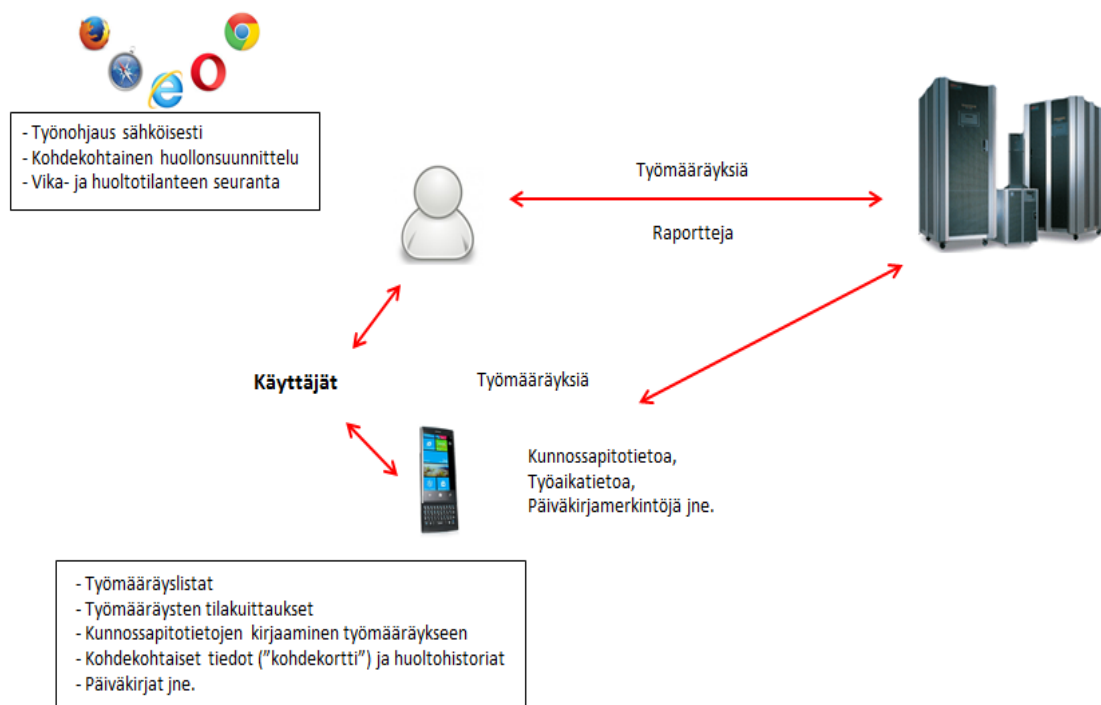
tössä oleviin Windows-pohjaisiin älypuhelimiin. WiseMaster Flow Maint:a käytetään useilla eri toimialoilla, mutta valtaosa käyttäjäryhmistä työskentelee lämmön- tai energiantuotannossa, verkostojen kunnossapidossa, teollisuuden ja korjaamoiden laitekunnossapidossa tai liikkuvan kaluston kunnossapidossa.

Järjestelmä mahdollistaa kunnossapidon piiriin kuuluvien laitteiden järjestämisen hierarkian ja alueiden mukaan, mikä helpottaa suurten laitemäärien hallintaa. Tämän ominaisuuden avulla esimerkiksi varaosien kohdentaminen tietyille laitteistolle niiden sopivuuden perusteella on mahdollista. Järjestelmään voidaan määrittää useita laitetyppejä, joiden perusteella eri laitteista voidaan kerätä ja näyttää eri tietoja. Kaikki tiedot liittyen päiväkirjamerkintöihin, mittarilukemiin, huoltoihin, korjauksiin jne. ovat käytettävissä internetissä ja mobiilissa. Yhtenä tärkeimpänä ominaisuutena voidaan kuitenkin pitää kunnossapidon ennakkosuunnitteluun käytettäviä työkaluja. Näiden avulla suunnitelluista huolloista syntyy automaattisesti henkilöstölle sähköiset työmääräykset suoritettavien toimenpiteiden ja kohteen tietojen kanssa. Työnaikana ja työn jälkeen kohteesta voidaan kirjata laitepäiväkirja-ominaisuuden avulla haluttuja tietoja vaivattomasti älypuhelimella. Dokumenttienhallinnan avulla järjestelmään voidaan lisätä kaikenmuotoisia tiedostoja liittäen näitä kohteisiin ja sähköisiin työmääräyksiin. Tiedostojen käyttö onnistuu myös älypuhelimella. [35, 36] Kuvassa 11 on havainnollistettu järjestelmän toimintakaaviota.

Verrattaessa Flow Maint kunnossapitojärjestelmää muiden valmistajien järjestelmiin, on yhtenä tärkeänä etuna off-line käytettävyys, jolloin järjestelmää voidaan käyttää myös verkon katketessa. Tällöin tiedot tallentuvat älypuhelimien omaan tietokantaan ja verkon palatessa, synkronoituvat muuttuneet tiedot automaattisesti järjestelmään. Moneen muuhun järjestelmään nähden Flow Maintissa etuna on myös järjestelmän selkeys ja hinta.

Kaikki edellä mainitut ominaisuudet eivät kuulu peruspakettiin vaan nämä ovat muokattavissa tarpeiden mukaan. RIG:llä käytössä olevat ominaisuudet ovat seuraavat: käyttäjähallinta, kunnossapidon laitekortit, varalaitteiden hallinta, laitepäiväkirja, kunnossapidon työnohjaus, ennakkohuollot ja toistuvat työt, kunnossapitohistoria, sähköiset tarkastuslomakkeet, dokumentinhallinta ja liitântätarpeet SCADA-järjestelmään. Siitä huolimatta, että järjestelmä pitää sisällään kaiken olennaisen, ja on käytössä varsin joustava, voitaisiin tätä jossain määrin edelleen kehittää. Kehityskohteet voisivat liittyä laskurilukemien siirtoon SCADA:lta kunnossapitojärjestelmiin, huoltosuunnitelmien matriisinäkymiin ja seisokitöiden hallintaan. RIG:llä kunnossapitojärjestelmä muodostaa rajapinnan CISS Base Dokumenttienhallintajärjestelmän ja Easynet-käyttöliittymän kanssa.





**Kuva 11.** Kunnossapitojärjestelmän toimintakaavio. [37]

#### 4.4.1 Työn ohessa käyttöön otettava varastohallintamoduuli

Varastohallinta tapahtuu varastohallintajärjestelmän kautta. Varastohallintajärjestelmä voi olla oma järjestelmä, mutta usein tämä on sisällytetty johonkin toiseen järjestelmään kuten kunnossapitojärjestelmään. Ohjatun varastohallinnan tarkoituksena on pitää tavaroiden määrät ja tilaukset kontrollissa sekä rekisteröidä edellä mainitut tapahtumat varastointiin liittyen. Varastohallintajärjestelmän tehtävänä on tehostaa toimintaa, vähentää virheitä, pienentää riskitekijöitä, jäljittää tavaroita ja pyrkiä vähentämään tavarankäsittelyä ja tehostamaan tilausta. [38]

Yhtenä osana tätä työtä on selvitettyjen varaosatieojen ajaminen kunnossapitojärjestelmään ja näiden ajan tasalla pitäminen. Koska kunnossapitojärjestelmässä ei ole tällä hetkellä tätä mahdollisuutta, täytyy järjestelmää laajentaa varastohallinta osalla. Käyttöön tuleva varastohallintamoduuli tulee lisäosaksi käytössä olevaan M-Technologyn valmistamaan kunnossapitojärjestelmään. Lisäosan tarkoituksena on pitää olemassa olevien varastojen sisällöt ja määrät ajan tasalla (aiemmin henkilömuistin varassa), selvittää varaosien sopivuus nopeammin yhteen linkitetyn kohteen kanssa ja hallita varaosamenekkiä laitekohtaisella tasolla. Tarkoituksena on myös saada käyttöön sähköposti-ilmoitus tilausehdotuksesta tuotteen saavuttaessa tilauspisteensä.

Käyttöön otettavan varastohallintamoduulin hyvinä ominaisuuksina voidaan pitää mobiilikäyttöä ja monipuolisia hakumahdollisuuksia. Kohteen varastosta otto mobiilisovel-

luksen avulla on käytäntöä helpottava tekijä, kun varastoja on useita neliökilometrien kokoisella tehdasalueella. Tällöin tuotteen kirjaaminen ulos varastosta tapahtuu viivakoodin ja älypuhelimien asennetun mobiilisovelluksen avulla. Tämän avulla varastosaldot pysyvät paremmin ajan tasalla verrattaessa aiemmin käytössä olleisiin vihkopohjaisiin kirjanpitomenetelmiin. viivakoodin avulla voidaan vielä tarkastaa varastosaldo. RIG:llä kohteet (kojeistot, muuntajat, tietokoneet jne.) on merkitty QR-koodilla ja varaosat (kondensaattorit, anturit, tietokoneiden osat jne.) on merkitty viivakoodilla. QR-koodin tai viivakoodin tulostus onnistuu varaosakortista kaapatun kuvan ja BRADY-tarratulostimen avulla Varaosan hakeminen järjestelmästä on myös helpompaa useiden hakuerojen avulla, joita ovat mm. haku nimen, varaston, laitteen tai luokan mukaan. Hakuerojen merkitys kasvaa, kun varaosamäärät nousevat suuriksi. Varastohallintamoduuli on kytketty työmääräyksen kanssa yhteen, jolloin työhön suunnitellut varaosat vähenevät automaattisesti varastosta. Varastohallintamoduuliin on myös tarkoituksena ottaa käyttöön linkitys varaosan ja tämän sijainnin välille karttapohjaan. Moduulista nähdään myös varaosien ja varastojen arvot sekä varaosakohtainen menekki töiden suhteen. Muutamien varaosien kohdalla tuotteen tiedoissa on linkitys CISS Baseen, josta voi nähdä kuvan varaosasta. Esimerkki tällaisesta on tukieristin.

Koko kunnossapitojärjestelmän tavoin myös sen lisäosassa on kehityskohteita. Kehitettäviä osa-alueita voitaisiin soveltaa esimerkiksi varastonsaldo-muotoihin. Tällöin saldomuodot voisivat olla varasto, varattu ja huolto. Varatun tilan esittäminen sen sijaan, että kohde vähennetään suoraan työmääräyksen pohjalta varastosta, tulee esille tilanteessa, jossa työ suoritetaan pitkän ajan kuluttua ja tarve varaosalle olisi suurempi josakin muussa työssä. Tällaisen tilanteen sattuessa olisi tieto olemassa olevasta varaosasta ja tämä voitaisiin käyttää akuutimman tilan omaavassa kohteessa. Varastohallintamoduulia toki kehitetään koko ajan ja ehkä tämä voi olla mahdollista jossakin vaiheessa.

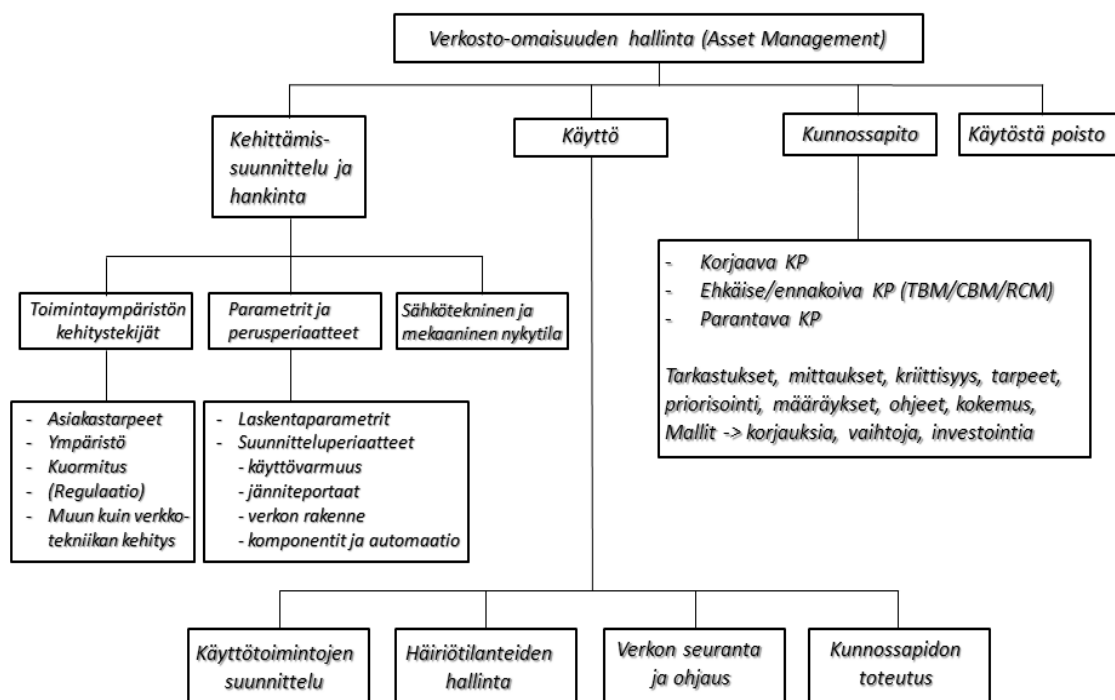
## 5. RIG OY:N OMAISUUDEN HALLINTA

Sähköverkkotoiminnan on oltava häiriötöntä ja vaaratonta, luotettavaa ja taloudellista. Jotta edellisiin tavoitteisiin voidaan päästä, tarvitaan tietoa, kokemusta ja kykyä hallita huomattavan suurta verkosto-omaisuutta. Jako omaisuuden hallinnasta voidaan jakaa kolmeen osa-alueeseen: suunnitteluun, kunnossapitoon ja käyttöön. Painoarvot näiden välillä vaihtelevat strategiasta, verkkoyhtiöstä, tämän laitteistosta ja koosta riippuen melkoisesti. Suunnan näille toiminnoille antavat sähkömarkkinalaki, asetukset ja standardit sekä eri osapuolien välillä solmitut sopimukset. Haastavuuden toiminnalle aiheuttaa verkkotoiminnassa olevien investointien suuruudet, näiden pakkotahtisuus sekä pitkät poisto- ja pitoajat.

### 5.1 Sähköverkkoyhtiön omaisuuden hallinta

Sähköverkkoyhtiön verkoston arvo on merkittävä ja pitoaika yleensä pitkä. Verkosto-omaisuuden hallinnalla (asset management) tarkoitetaan niitä toimenpiteitä, joilla järjestelmää kehitetään, ylläpidetään ja käytetään. Päätoimintoina nämä voivat olla kehittämissuunnittelu, kunnossapito ja käyttö. Verkoston kehittämisen tavoitteena on minimoida pitkän aikavälin kustannukset ja maksimoida tuotto säännöksiensä puitteissa, kunnossapidolla pyritään pitämään järjestelmä käyttökunnossa, kun taas käyttötoimenpiteillä kytketään ja ohjataan järjestelmään haluttuja tiloja. [1. s.215] Tässä kappaleessa kuvataan omaisuuden hallintaa kehittämistoiminnan kautta, koska kunnossapidosta ja verkon operoinnista RIG:llä on tullut kappaleissa 3.3 ja 3.4. Verkosto-omaisuuden hallintaa on kuvattu kuvassa 12.

Apuna omaisuuden hallintaan voidaan käyttää erilaisia välineitä. Näitä voivat olla tietojärjestelmät, josta saadaan verkko-, kunto- ja kohdetietoa sekä vikatilastoja ja laskenta-toimia. Ohjaavina tekijöinä omaisuuden hallinnalle toimivat reunaehdot ja kehitysnäkymät. Nämä voivat usein liittyä turvallisuuteen, kuormitukseen ja laatuun, yhdyskuntarakenteen kehittymiseen, tekniikan ja laitteiston kehittymiseen, sähkömarkkinalakiin ja viranomaisvalvontaan tai omistajan odotuksiin. Omaisuuden hallinnan merkittävänä työkaluna toimii myös henkilöstön ammattitaito. Henkilöstön ammattitaidon merkitystä omaisuuden hallinnassa ei tule väheksyä sillä, ajan mittaan kertyneen kokemuksen ja ammattitaidon rooli voi olla korvaamaton niin suunnittelussa, kunnossapidossa kuin verkon operoinnissa. [39]



**Kuva 12.** Verkosto-omaisuuden hallinta verkkoyhtiössä. [1. s.216-231, 40]

Verkoston kehittäminen lähtee liikkeelle kehittämistarpeiden tunnistamisesta. Yleensä kyseessä on pakkoinvestoinniksi kutsuttu tilanne. Pakkoinvestoinnin tyypillisiä aiheuttajia voivat olla esimerkiksi suojaustekninen hyväksyttävyys, kuormitettavuus, liian alhainen jännitetaso, kelvoton kunto, heikko toimitusvarmuus tai loistehon kompensointiin liittyvät vaatimukset. Joskus investointeihin liittyviä ongelmia voi olla useampia kuin yksi, tällöin joudutaan priorisoimaan. Priorisointia voidaan joutua tekemään esim. jännitejännäkkyyden, häviöiden, keskeytysten, kunnan tai turvallisuuden ja ympäristön välillä. Keinoina priorisointiin voidaan käyttää pisteytystä tai aiheutuneita kustannuksia. Erilaisia vaihtoehtoja kehittämistoimenpiteille voivat olla sähköasema tai muuntaja, kaapelointi, kompensointi, välikatkaisija, kauko-ohjaus, kunnossapito ja kunnanvalvonta. [41]

## 5.2 Varaosavarastot ja näiden hallinta

Varastoinnilla (warehouse management) tarkoitetaan varastorakennuksia ja -tiloja sekä varastotoimintoja. [42. s. 79] Tuote- ja materiaalivarastot ovat välttämättömiä lähes kaikille yrityksille. Varastoja tarvitaan toimituskyvyn turvaamisessa sekä tuotantoprosessin eri vaiheiden kytkennässä. [43. s. 445] Varastoinnin päätarkoituksellisin syy teollisuudessa on riskienhallinta ja tuotannon jatkuva turvaaminen. Varastointi teollisuudessa on seurausta laitteiden varaosien pitkistä toimitusajoista, jotka voivat olla useita kuukausia.

Kunnossapidon yhtenä tärkeänä osana on varastohallinta, jonka luotettavuus ja toiminnan varmuus lisäävät kunnossapidon tehokkuutta. Kunnossapidon tehokkuuden avulla puolestaan saadaan lisäarvoa koneelle tai laitteelle ja tätä kautta prosessille. Varastohallinta toimii koko toimitusketjua hallinnoivana tekijänä. Varastohallinnan avulla hallinnoidaan ostoja, tavarantoimitusta, hyllytystä, keräilyä, pakkausta, toimitusta, huoltoja ja kaikkea varastointiin liittyviä toimenpiteitä. Toimivan varastohallinnan avulla virheet vähenevät ja menekkiä pystytään seuraamaan tarkemmin. Oleellisena tarkoituksena varastohallinnassa on myös varaosien parempi löytyvyys, joka koetaan suureksi ongelmaksi yrityksissä, joissa varastot ovat suuria tai niitä on useita. Käytännössä varastohallinnan avulla voidaan tehostaa ja optimoida kunnossapitoa sekä vähentää merkittävästi yrityksen tavarantoimitusketjuissa olevia turhia kuluja. [42. s. 62]

Liiketoiminnan kannalta varastojen merkitys, toimivuus ja luotettavuus ovat erittäin tärkeitä. Puhuttaessa varastoista liiketoiminnan kannalta, puhutaan yleensä kustannustehokkuudesta ja tuottamattomuudesta, joka tarkoittaa käytännössä sitä, että varasto ei varsinaisesti tuota mitään, vaan pienentää kuluja ja menoja. Mikäli tavoitteena on varastokustannusten minimointi, törmätään ristiriitaan: varastojen koon ja määrän pienentäminen vähentää varastointikustannuksia, mutta kasvattaa puute- ja hankintakustannuksia. Kuvassa 13 on esitetty varastoinnista syntyviä kustannuksia varaston kokonaisarvoon nähden. [43. s. 444] Nopealla laskutoimituksella voidaan laskea 1 M € arvoisen varaston aiheuttavan kustannuksia vuodessa 195 000-360 000 €. Tämä sitoo pääomaa ja aiheuttaa kulueriä.

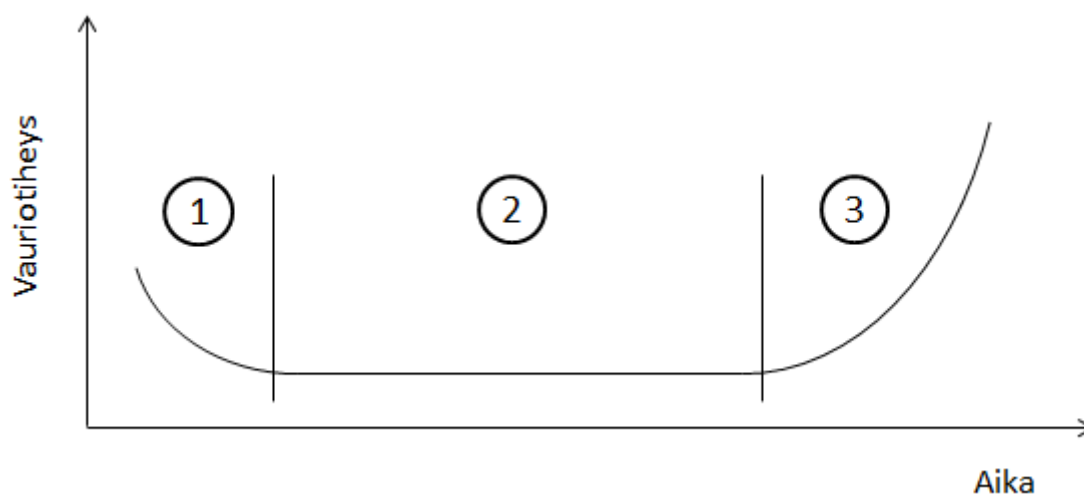
<b><u>Varastoinnista syntyvät kustannukset varaston arvoon nähden</u></b>	
1. Sitoutuneen pääoman korko	10-20 %
2. Tilakustannukset	1-5 %
3. Työvoimakustannukset	1-5 %
4. Hävikki (epäkuranttius, häviäminen, särkyminen)	2-5 %
5. Vakuutukset	0.5-1 %
<b>Yhteensä</b>	<b>19.5-36 %</b>

**Kuva 13.** *Varastoinnista syntyvät kustannukset varaston kokonaisarvoon nähden.*  
[43. s. 444]

Yleensä varastoja pyritään pitämään toimintaketjun kaikissa vaiheissa mahdollisimman matalana. Tämä on seurausta siitä, että varastoihin sitoutuneen pääoman kierto on hidasta, joten on tuottavampaa sijoittaa pääoma sellaiseen kohteeseen, missä rahan kierto on nopeampaa. Teollisuudessa varaosavarastojen arvo voi olla hyvinkin korkea, koska varaosia täytyy olla kriittisyysasteen mukaan. Teollisuudessa varastojen arvot vaihtelevat myös melkoisesti johtuen seisokeista. [43. s. 445]

### 5.3 Komponenttien elinkaari ja ikääntyminen

Sen lisäksi, että verkoston laitteilla on uutena riittävät sähköiset ja mekaaniset ominaisuudet, on näiden kestävä käytönaikaiset rasitukset, siten että ominaisuudet eivät heikkene ja vaurioitumista ei tapahdu. Hyvin käytetty menetelmä vauriotiheyksin tarkasteluun on kuvan 14 mukainen käyrä. Kuvassa oleva käyrä on yleistys, jonka seurauksena eri komponenttien käyrät voivat olla erilaisia (tasainen, nouseva, laskeva, yhdistelmä) ja mentäessä poikkeavampiin olosuhteisiin, kuten tehdasympäristö, voi vauriotiheys vaihdella huomattavasti. Esimerkkinä voidaan käyttää vaurioita, jotka riippuvat täysin satunnaistekijöistä, jolloin vauriotiheys on vakio. Kokonaisuuksia tarkastellessa on muistettava, että yhden osan rikkoutuminen voi aiheuttaa koko laitteiston toimimattomuuden. Kuvassa olevan käyrän voi jakaa kolmeen alueeseen. Alueella 1 vauriotiheys on suuri, koska tällöin vaurion kokevat laitteet, jotka eivät sovellu käyttötarkoitukseen tai ovat muuten valmistusviallisia. Alueella 2 vauriotiheys pysyy tyypillisesti pitkään vakiona vaurioiden esiintyessä satunnaisesti tai poikkeavien tilanteiden seurauksena. Alueella 3 puolestaan vauriotiheys lähtee nousuun eliniän lähentyessä loppuaan. Suurjännitelaitteissa voidaan olettaa valtaosan karsiutuvan valmistajan testauksissa tai käyttöönottokokeissa, jolloin vauriokäyrä muodostuu alueesta 2 ja 3. [39. s. 2]



**Kuva 14.** Sähköverkon komponentin tyypillinen vauriotiheys ajan funktiona. [39. s. 2]

Laitteen tekninen elinikä on seurausta laitteen toimintakelpoisuudesta, siitä ovatko laitteen materiaalit ja toimivat osat sellaisessa kunnossa, että laite selviää sähköisistä, mekaanisista ja termisistä rasituksista. Materiaalien ja rakenteiden mitoittaminen on teknis-taloudellista optimointia, missä kohteelle sallitaan erittäin harvoissa tapauksissa sattuvat vaurioitumiset. Tällöin kohde selviytyy niistä olosuhteista, joihin tämä on tarkoitettu suurella todennäköisyydellä. Suurjännitelaitteen tekninen ikä johtuu useista tekijöistä, joita ovat itse laite, sen rakenne, käytetyt materiaalit ja valmistuksessa käytetyt menetelmät, laitteen testaukseen käytetyt menetelmät ja laitteen kunnossapito. Näitä tekijöitä merkittävämmäksi tekniseen elinikään vaikuttavaksi tekijäksi kuitenkin nousee laitteen käyttö- ja ympäristöolosuhteet. Laitteen käytettävyyys ei kuitenkaan muodostu pelkän

teknisen eliniän perusteella, vaan tähän vaikuttaa myös strateginen ja taloudellinen elinikä. [39. s. 3] Strategisella eliniällä tarkoitetaan sellaista tilannetta, joka syntyy esimerkiksi järjestelmän kehitys- tai laajennustarpeista. Tällainen tilanne voi tulla vastaan, kun prosessia laajennetaan ja tämän seurauksena tarvitaan tehokkaampi muuntaja. Laitteiston taloudellinen elinikä voi puolestaan tulla vastaan, kun ylläpito- tai häviökustannukset kasvavat kohtuuttoman suuriksi. Tällainen tilanne voi olla esimerkiksi suuren kompensointiyksikön vaatimat tiheät kunnossapitotoimenpiteet. Eliniästä yleensä puhuttaessa puhutaan näiden yhdistelmä. Tämä yhdistelmä tunnetaan nimellä teknis-taloudellisena pitoaikana, joka tarkoittaa aikaa jonka komponentti on keskimäärin verkossa. Yleensä teknis-taloudellinen pitoaika on lyhyempi kuin taloudellinen pitoaika. [44. s. 20] Vanhenevien verkon osien ja laitteistojen elinkään voidaan vaikuttaa merkittävästi, kun tiedetään komponenttien tilat riittävän hyvin. Tarvittavia investointeja voidaan myös siirtää oikein kohdennettujen ja ajoitettujen huoltotoimenpiteiden avulla. Elinikään voidaan vaikuttaa myös täyshuolloilla, kriittisten komponenttien vaihdolla ja käyttörajoituksilla. [39. s. 4]

Suurjännitelaitteistot ovat alttiina monenlaisille vanhentaville rasituksille. Sähköiset rasitukset, joita ovat muun muassa jatkuva käyttöjännite, yliaalto- ja vikatilannevirrat sekä satunnaiset ylijännitteet, vaikuttavat laitteen eristykseen vanhentavasti. Lopullisen vaurioitumisen aiheuttava tapahtumaketju johtuu aina hyvin useista tekijöistä, jotka eristeisiin vaikuttavat. Tällaisia tekijöitä ovat esimerkiksi eristeen lämpötila ja lämpötilavaihtelut sekä valmistuksen ja käytön aikana kohteeseen joutuneet epäpuhtaudet ja kosteus. Käyttöpaikalla vanhenemiseen voi vaikuttaa myös ympärillä olevat kemikaalit ja kaasut, jotka etenkin teollisuudessa ovat suuri ongelma. Merkittäviä tekijöitä vanhenemiseen ovat myös mekaaniset rasitukset, auringon valo, lumi- ja jääkuormat sekä muut järjestelmää mekaanisesti vaurioittavat tekijät kuten ruostuminen, lahoaminen, syöpyminen ja muut mekaaniset vauriot. [39. s. 5]

Teollisuudessa järjestelmää vanhentavat tekijät saavat kokonaan uusia ulottuvuuksia. Esimerkiksi terästeollisuudessa komponenttien vanhenemiseen vaikuttavat merkittävästi repivät kuormitukset kuten valokaari- ja ferrokromiuunit. Verrattaessa teollisuusympäristöä normaaliin jakeluverkkoympäristöön, voidaan huomata, että vikojen määrä on moninkertainen. Tämän seurauksena komponenttien ja järjestelmien vanheneminen tapahtuu huomattavasti nopeammin. Järjestelmää on aiemmin jouduttu myös ajamaan jonkin verran nimelliseen nähden ylikuormitettuna, jolla on myös vanhenemiseen vaikuttava elementti. Nykyisin ylikuormituksen tarve on vähäisempää, ja tätä kokevat harvakseltaan vain uunikatkaisijat. [45] Sähköisen vanhenemisen mallintamisessa on ongelmana se, että tarkkoja tietoja vanhenemisesta eristeissä ei tiedetä, ja siitä huolimatta vaikka tiedettäisiinkin, on tekijöiden määrä suuri, jonka vuoksi matemaattinen mallintaminen on vaikeaa. [39. s. 6] Teollisuusympäristössä vanhenemisen aiheuttamat haasteet laajenevat entistä laajemmalle, johtuen käytössä olevista erikoiskomponenteista. Tähän ryhmään kuuluvat esimerkiksi SVC-kompensointien puolijohdetekniikalla toteutetut tyristori- ja transistoriventtiilit. Taulukossa 1 on esitetty yleisimpien sähköverkon

komponenttien, lähinnä sisäisen eristyksen vauriomekanismeja sekä niiden havainnointiin sopivia kunnonvalvontamenetelmiä.

**Taulukko 1.** *Tyypillisiä eristysten vauriomekanismeja ja sopivia kunnonvalvontamenetelmiä. [7. s.200]*

Komponentti	Vauriomekanismi tai vika	Diagnosointimenetelmä
Muuntaja	Öljypaperieristyksen muutokset	Öljynäytteen analysointi: liuenneet kaasut, hiukkaspitoisuus, $\tan \delta$ , neutraloimisluku, läpilyöntijännite, rajapintajännitys, eristyksen $\tan \delta$ .
	Eristyksen kostuminen	Öljyn kosteusmittaus, paperinäytteen kosteusmittaus, eristyksen $\tan \delta$ , DR
	Paperin muutokset	Öljyn furfuraalianalyysi, paperin DP-analyysi
	Sisäiset osittaispurkaukset	Öljyn kaasuanalyysi, PD-mittaus, akustinen osittaispurkausten ilmaisu ja paikannus
	Terminen vika	Öljyn kaasuanalyysi (lämpökuvauk)
Mittamuuntajat $\geq 123$ kV, muuntajan läpivientieristimet	Käämien mekaaniset muodonmuutokset	Taajuusvaste FRA, siirtofunktio TF
	Öljypaperieristyksen muutokset tai sisäinen vika	Öljyn kaasuanalyysi, $\tan \delta$ , lämpökuvauk, sisäinen paineen mittaus (mittamuuntajat), DR
	Eristyksen kostuminen	$\tan \delta$
GIS-laitokset	Osittaispurkaukset	PD-mittaus
	Osittaispurkaukset	Akustinen osittaispurkauspaikannus, UHF-mittaus, kaasuanalyysi
Metallioksidisuoja	Varistorimateriaalin muutokset	Vuotovirta, lämpötila, DR
Kaapelit (muovi)	Sähköpuut, vesipuut	PD-mittaus, DR
Kondensaattoriparisto	Osittaispurkaukset	$\tan \delta$ , kapasitanssi
Eristin	Materiaalien väsyminen, halkeamat	Ultraäänimittaus (ei ilmaise muutoksia metallilaitteiden sisällä), koronakuvaus



Eroin	Huonot kontaktit	Ylimenoresistanssi, sähkömagneettinen säteily, lämpökuvaus
Kytkinlaitteet	Eristesäiliön vuoto mekaaniset viat, koskettimien kuluminen	SF6-kaasun paine, öljyn pinta mekaanisen toimintakunnon tarkistus (toiminta-ajat, kosketinpaineet yms.)
Pyörivien sähkökoneiden eristykset	Vyyhti- tai kierrossulku	Pulssimittaus, PD-mittaus, DR

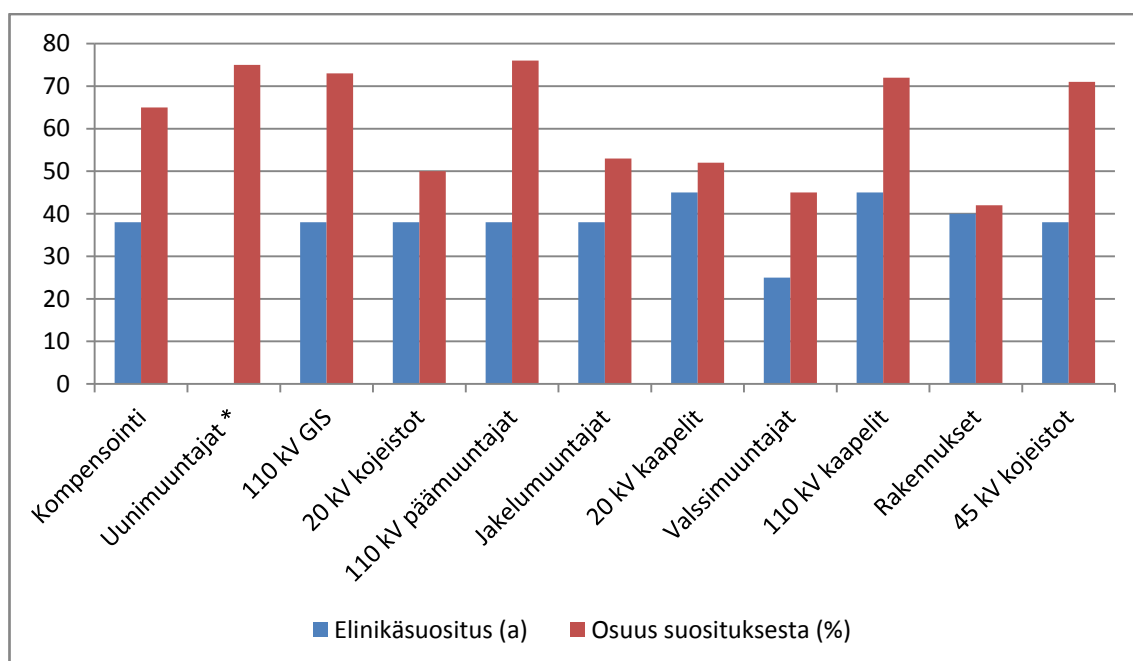
Eristeille elinikäennuste voidaan määrittä tilastollisella jännitelujuuteen perustuvalla testillä, jossa suurta identtistä joukkoa rasitetaan tasaisesti nousevalla jännitteellä aina läpilyöntiin asti. Vastaavasti voidaan tehdä testi, jossa kohdetta rasitetaan tasaisella jännitteellä ja mitataan läpilyöntiin kulunutta aikaa, josta saadaan joukko erilaisia aikoja. [39. s.7]

## 5.4 RIG Oy:n omaisuuden hallinta

RIG:llä omaisuuden hallintaa ohjaavat viranomaisuusmääräykset, Outokummun ja RIG:N välille solmittu sopimus ja Outokummun prosessit. Suunniteltaessa uutta prosessia tehdasalueelle, seuraa tästä toimenpiteitä RIG:lle. Tällöin joudutaan huomioimaan asiakastarpeet, talous, kuormitukset ja ympäristö pitäen mahdollisuuksien mukaan kiinni verkostostrategiasta. Haasteen omaisuuden hallinnalle RIG:llä tuo suuren pääoman sitonut verkosto-omaisuus (suuri määrä eri komponentteja ja varaosia), haastavat kuormitukset ja ympäristö, tapauskohtaisemmat kehittämissuunnittelutoimenpiteet sekä kunnossapito- ja kytkentätoimenpiteiden suuri määrä. Toiminnan haasteena jakeluverkotoimintaan verrattuna voidaan nähdä myös henkilöstöltä vaadittavan ammattitaidon laajuus johtuen suuresta määrästä automaatio- ja IT-laitteita. Jakeluverkotoimintaan nähden etuna voidaan nähdä alueen pieni koko, jonka seurauksena vikapaikoille on selkeämpi luokse päästävyys sekä useiden kohteiden sijainti sisätiloissa.

Siitä huolimatta, että RIG:n toiminta ei kuulu regulaation piiriin, on tehdasverkosta solmitun kaupan yhteydessä käytetty apuna Energiaviraston antamia suosituksia järjestelmän arvon määrittämisessä. Tällöin pohjana omaisuuden hallinnalle toimi sähköverkon komponenteille laadittu yksikköhintamalli. Yksikköhintamallin tehtävänä on toimia komponentin elinkaarimallina, jonka avulla komponentille saadaan määritettyä arvo ajan funktiona. Yksikköhintamallin ja komponenttien määrän avulla kyetään laskemaan jälleenhankinta-arvo (JHA), jonka avulla puolestaan voidaan laskea järjestelmän nykykäyttö (NKA). Nykykäyttöarvoon huomioidaan komponenttien keski-ikä ja pitoaika. Nykykäyttöarvo tarkoittaa komponentin tämän hetkistä arvoa, jolla komponentti voidaan myydä ja jonka avulla omaisuuden arvo yleensä kuvataan. Jälleenhankinta-arvo kuvastaa komponentin arvoa, joka joudutaan maksamaan, jos komponentti korvataan

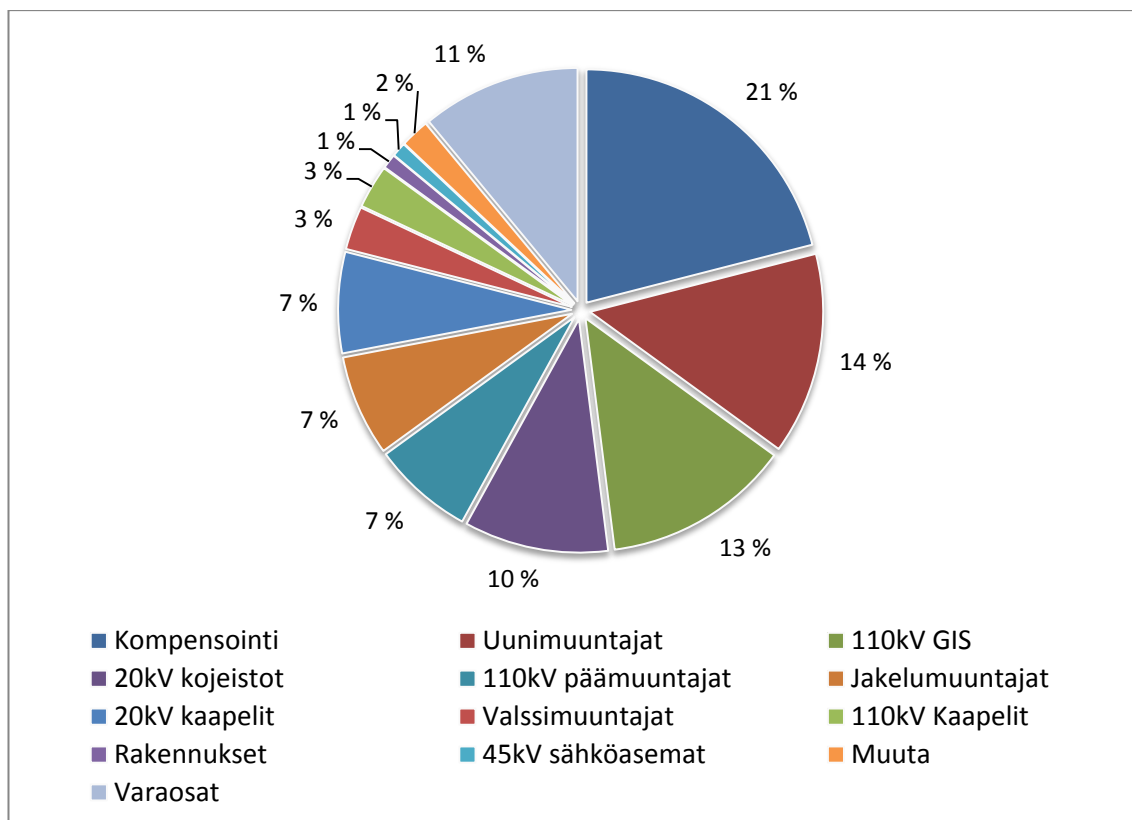
uudella. Kuvaan 15 on kerätty RIG:n omistaman tehdasverkon elinikäso luokkakoh-  
 taisesti. Kuvaan on huomioitu vain sellaiset komponenttiluokat, joiden yhteenlaskettu  
 nykykäyttöarvo ylittää 0.5 M €. Pohjan määritetyille ikätasolle antaa Energiaviraston  
 komponenttikohtaiset yksikköhinnat ja erikoisemmilla kohteilla kuten erikoismuuntajil-  
 la ja ei maan alle asennetuilla kaapeleilla Outokummulle maksettu kauppasumma. Eri-  
 koiskohteiden elinikäso määrittämiseen ei Energiavirasto ole määrittänyt komponentti-  
 kohtaisia hintoja tai suositeltuja pitoaikoja, jonka seurauksen kokemukselle ja tietämyk-  
 selle ympäristöstä ja kuormituksesta painottuu suurempi painoarvo. [46] Kuvassa olevi-  
 en prosentuaalisten osuuksien suuruus vaihtelee 42-76 %:n välillä. Keskimääräisesti  
 tämän suuruus kaikkien luokkien välillä on 61.3 %:a. Käytännössä tämä tarkoittaa kaik-  
 kien luokkien väliltä keskimääräiseksi jäljellä olevaksi pitoajaksi noin 14.5 v.



\* = Unimuuntajien elinikäso suositus muuntajasta riippuen 25 tai 35 vuotta.

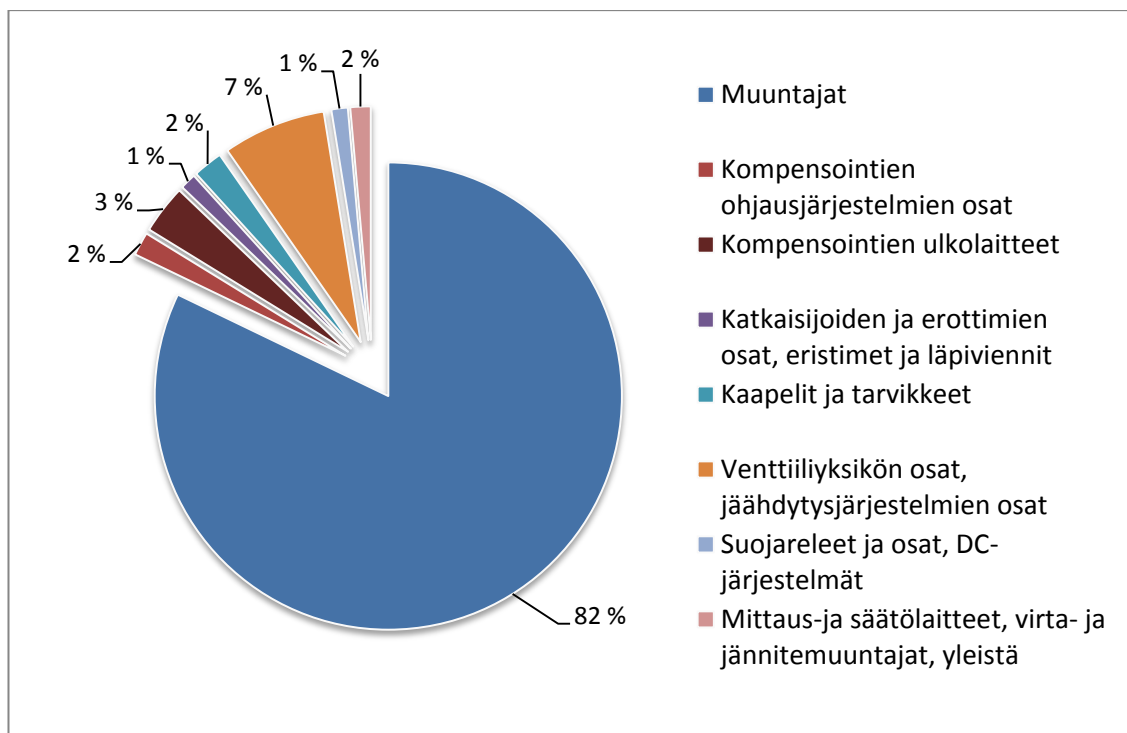
**Kuva 15.** RIG Oy:n omaisuuden elinikäso luokkakoh-  
 taisesti. [46]

Kuten aiemmin on ilmennyt, koostuu RIG:n omaisuus kaapeleista muuntajista, katkaisi-  
 joista ja erottimista, kojeistoista, kompensointiyksiköistä, suoja-areleista, varaosista ja  
 muista pienemmistä järjestelmän operointiin ja käyttöön liittyvistä laitteistoista. Koko-  
 naisuudessaan tälle on laskettu nykykäyttöarvoksi 67.6 M €, joka myös ilmoitettiin  
 kauppasummaksi, kun Outokumpu luopui tehdasverkostaan. Jälleenhankinta-arvoksi  
 tehdasverkolle on määritetty 107.2 M €. Kuvassa 16 on esitetty RIG:n omaisuuden ja-  
 kautuminen luokkakoh-  
 taisesti. Komponenttiluokat, joiden yhteenlaskettu nykykäyttöar-  
 vo on pienempi kuin 0.5 M €, on sisällytetty Muuta-luokkaan. [46]



**Kuva 16.** RIG:n omistama omaisuus luokkakohtaisesti nykykäyttöarvon mukaan. [41]

Kuvassa 17 on esitetty RIG:llä olevan varaosavaraston arvon jakautuminen luokkakoh-  
 taisesti. Luokat ovat vastaavia kuin kunnossapitojärjestelmässä, mutta kaavion selkey-  
 den vuoksi muutamia luokkia on yhdistetty. Kaavio ei sisällä kohteita, joiden käyttötila  
 vaihtelee usein (varalla tai varalähdöissä olevat katkaisijat ja suojareleet). Kaavio ei  
 myöskään pidä sisällään kohteiden pienempiä sekalaisia osia (esim. katkaisijoiden ja  
 erottimien ohjaukseen käytettävien ohjauskoneistojen osia), pj-kaapeleita, yleisiä pien-  
 tarvikkeita (liittimiä, holkkeja, releitä jne.), työkaluja tai varusteita, kupariköysiä, valo-  
 kuitukeloja tai joitakin yksittäisiä vanhoja, viallisia kohteita. Näiden arvoksi voidaan  
 kuitenkin arvioida ilman työkaluja joitakin tuhansia euroja, joiden merkitys kokonai-  
 suuden kannalta on merkityksetön. Kokonaisuudessaan kuvan mukaiseen varaosavaras-  
 toon on sitoutunut jälleenhankinta-arvoltaan noin 10 M € pääoma. Valtaosa tästä arvosta  
 koostuu muuntajista, jotka koko tehdasverkon kriittisimpiä komponentteja. Muuntaji-  
 en suuri osuus kokonaisarvosta johtuu erikoismuuntajien hinnoista, mikä voi olla mil-  
 joona-luokan suuruinen.



**Kuva 17.** RIG Oy:n varaosavarastojen jakautuminen luokkakohtaisesti jälleenhankinta-arvon mukaan

RIG:n tehdasverkon rakentaminen on aloitettu 70-luvun puolessa välissä, ja laajentamisista sekä modernisointia on tapahtunut tasaisesti koko ajan. Suurimpana yksittäisenä laajentamiskautena voidaan pitää 2000-luvun alkua, jolloin terässulattelolle rakennettiin toinen valokaariuuni. Tähän aikaan laajennettiin myös kuumavalssaamoja ja rakennettiin toinen kylmävalssaamo. RIG:n järjestelmälle ei ole tulossa suurempia teknillisistä iästä johtuvia modernisointeja lähiaikoina.

Suurjännitelaitteen eliniän luotettava ennustaminen on olennaista niin valmistajan kuin käyttäjänkin kannalta. Normaalessa olosuhteissa olevan suurjännitelaitteen odotetaan kestävän vuosikymmeniä ja eliniän lähestyessä loppuaan olisi hyvä kykyä ennustamaan, milloin laite on vaihdettava välttääkseen yllättävät keskeytykset. Koska eliniän ennustaminen laskennallisesti on haastavaa, voidaan tässä apuna käyttää tilastollista ja kokemusperäistä tietoa. RIG:llä tilastointi tapahtuu nykyisin kaukokäyttöjärjestelmään, jonne tallentuvat sekä tapahtumat, hälytykset ja vikatilanteet. Vikatilanteet löytyvät kaukokäyttöjärjestelmästä noin kymmenen vuoden takaa, ja tätä aikaisemmat tapauskohtaisesti päiväkirjoista. Tapahtuma- ja hälytystiedot löytyvät noin neljän vuoden takaa, jolloin järjestelmää päivitettiin. RIG:llä tilastoja ja kokemusperäistä tietoa käytetään apuna komponentti- ja laitteistovalinnoissa. Kokemusperäisen tiedon merkitys korostuu, koska valtaosa laitteistosta on vanhempaa kuin kaukokäyttöjärjestelmä. Kohteiden eliniän ennustus tapahtuu pitkälti valmistajan antaminen tietojen ja suosituksien sekä kunnonvalvonta toimenpiteiden kautta.

## 6. VARAOSIEN HALLINTA JA LUKUMÄÄRÄT RIG:LLÄ

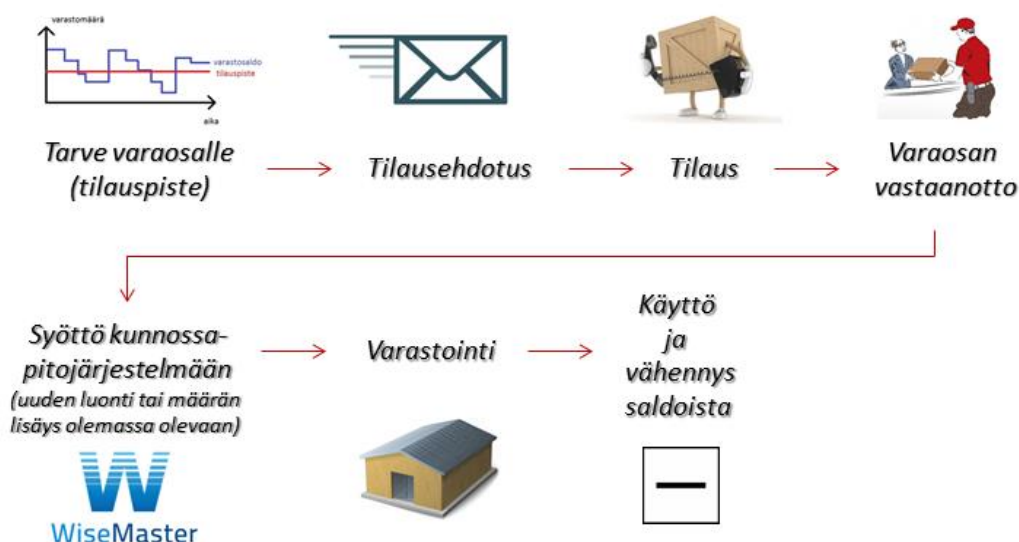
Tehokkaan prosessin yhtenä ehtona on kunnossapidon toimivuus häiriötilanteessa. Jotta kunnossapito voi toimia häiriötilanteessa, on tätä varten oltava ammattitaitoista henkilöstöä ja riittävä määrä oikeanlaisia varaosia. Oikeanlaisten varaosien oikeanlaisilla määrillä on pyrkimyksenä minimoida katkokseen kulunut aika ja maksimoida prosessin käyttöaste suunnitellun suuruisen kiinnitetyn pääoman rajoissa. Varaosien hallinnassa tarkoituksena ei siis ole maksimoida varmuutta hankkimalla ylettömät määrät mahdollisia varaosia, vaan tarkoituksena yleensä on löytää haluttua varmuustasoa vastaava varaosakanta, mikä on järkevä myös taloudellisesta näkökulmasta.

### 6.1 Varaosavarastot ja näiden toiminta

Varaosavarastoja RIG:llä on Outokummun tehdasalueella 18 kpl. Varastojen lisäksi suurempia varaosia kuten muuntajia ja vanhoja kuristimia/reaktoreita on varastoitu ulkotiloihin. Tapauskohteisesti myös näistä käytetään nimityksinä varastoja. Varastojen määrä selittyy tehdasalueen suurella pinta-alalla, joka on yli 600 hehtaaria ja josta noin 56 hehtaaria on rakennusten peitossa. Varastoista osa on pienempiä sekä määrältään että arvoltaan, ja yleensä nämä sijaitsevat sellaisten kohteiden läheisyydessä, jonne näissä olevat varaosat ovat sopivia. Tyypillinen esimerkki tällaisesta varastosta on kompensointiyksikköjen yhteydessä oleva varaosakaappi. Tällaisten varaosakaappien sisältö on koottu osittain valmistajan suosituksesta, mutta myös omakohtaisesta kokemuksesta eniten menevien varaosien suhteen. Tyypillisesti kompensoinnin yhteydessä oleva varaosakaappi sisältää I/O-kortteja, jäähdytysjärjestelmän osia sekä tyristori- tai transistoriventtiilejä. RIG:llä on olemassa myös muutamia suurempia varastoja, jonne on varastoitu varaosia moneen eri kohteeseen liittyen. Esimerkkinä tällaisesta on päämuuntoasema 1 kellarissa oleva varasto, joka sisältää varaosia ja tarvikkeita liittyen kaukokäyttöjärjestelmään (Netcontrol), suojareleisiin, katkaisijoihin, mittauksiin ja tasasähköjärjestelmiin. Sen lisäksi, että varaosia on osittain lajiteltu niiden sopivuuden mukaan, on varaosia lajiteltu myös lajikohtaisesti. Esimerkkinä tällaisesta voidaan käyttää varastokontteja, jonne yhteen on varastoitu tukieristimiä ja toiseen kondensaattoriyksiköitä. Liitteessä 2 on esitetty RIG:n varastot tehdasalueen karttapohjalla. Karttapohja ei ole mittakaavassa.

RIG:llä varaosien ja tarvikkeiden kiertokulku lähtee liikkeelle tarpeen toteamisesta. Tällöin on kyseessä kokonaan uusi kohde, joka halutaan varastoon tehokkuuden varmistamiseksi.

miseksi tai jo olemassa olevan kohteen saldojen kasvatus. Mikäli kyseessä on jo olemassa oleva kohde, kierto lähtee liikkeelle asetetun tilauspisteen alituksesta, jolloin työnjohtaja saa sähköpostitse ilmoituksen tästä. Tämän jälkeen työnjohtaja kartoittaa varaosan tarjoajat, tekee mahdollisen tarjouskyselyn ja tilaa tuotteen. Tuotteen saavuttua tehdasalueelle, Outokummun varasto vastaanottaa tämän ja ottaa yhteyttä RIG:n henkilökuntaan selvittäen toimituskohdetta. Yleisimmin toimituskohde on pääkytkinasema 1, jossa ns. päämaja sijaitsee, mutta etäisyyksien ollessa pitkiä, on usein huomattavasti nopeampaa toimittaa tilaus suoraan kohteeseen. Tuotteen vastaanottaa RIG:n henkilökunta, jolloin tarkastetaan vielä lähetyslistan ja lähetysten täsmävyys sekä onko tuote kaikin puolin ehjä ja tilatunlainen. Tämän jälkeen saldot päivitetään varastohallintamoduulin kautta järjestelmään ja tuote viedään sille tarkoitettuun varastoon. Mikäli tuote on uusi, täytyy tämä lisätä kunnossapitojärjestelmään varastohallintamoduulin kautta. Tuotetta lisättäessä järjestelmään varaosalle syötetään tarvittavat tiedot, kuten nimi, tarkenne, hinta, luokka, lisätiedot ja määrä. Tapauskohtaisesti kohde myös kuvataan ja manuaalit kopioidaan. Kuvat ja manuaalit lisätään CISS Baseen, jonne on linkitys varaosatiedoissa. Syötettäessä varaosalle myös hinta, on tästä apua omaisuuden hallinta kokonaisuudessa. Luotaessa uusi tuote järjestelmään, luo varastohallintamoduuli automaattisesti osakohtaisen viivakoodin. Viivakoodi tulostetaan kunnossapitojärjestelmästä tarratulostimen avulla ja liimataan hyllyn laitaan, jonne varaosa varastoidaan. Viivakoodin ja kunnossapitopuhelimen avulla voidaan lukea ja päivittää tietoja varaosaan liittyen. Tämän jälkeen varaosa jää odottamaan käyttötarkoitustaan. Kuvassa 18 on havainnollistettu varaosan kiertokulku.



**Kuva 18.** *Varaosan kierto RIG:llä*

RIG:llä varastojen sisällöstä, toimivuudesta ja järjestyksestä vastaavat oma henkilökunta. Tehtyä työmäärää vuodessa varastojen ylläpitoon liittyen on vaikea arvioida, koska tunti- tai työseurantaa näihin liittyen ei ole, ja normaali tilanteissa varaston ylläpitoon liittyvät työt hoidetaan muiden töiden ohessa mahdollisuuksien mukaan. Tuntimäärän

arviointia vaikeuttaa myös se, että varastoihin liittyviä menetelmiä on kehitetty viimeaikoina (2 vuotta, RIG osti tehdasverkon) melkoisesti, jonka vuoksi työmäärät eivät ole vielä päässeet tasaantumaan. Suuntaa-antavana, keskimääräisenä, kaiken varastojen ylläpitoon liittyvän työn arviona vuotta kohti voitaisiin pitää noin 1000 tuntia. Määrän suuruuden perustana toimii omakohtainen näkemys RIG:n aikana tehdyistä toimenpiteistä, kuten varastojen järjestelyistä, järjestelmien kehittämisestä (kupi-järjestelmä mukana varastojen hallinnassa) ja tähän mennessä tehdystä omasta työstäni (inventoinnit, varaosakartoitukset jne). Peilaten työnhallinnassa käytössä olleeseen QR-kooditukseen ja tämän käyttöön, voidaan olettaa, että varaosille käyttöön otettava viivakooditus tulee toimimaan vastaavasti. Tämän avulla varastojenhallinta tulee helpottumaan ja paikkansäpitävyys paranemaan.

## 6.2 Verkoston komponentit ja varaosien lukumäärät

RIG:llä oleva varaosakanta koostuu kaapeleista, kaapelipääteistä ja – jatkoksista, kompensointiin liittyvistä osista (tietokoneet, automaatio, tehpuolijohteet, kondensaattorit jne.), kaukokäyttö- ja IT-laitteistosta, suojarleistä, katkaisijoiden ja erottimien osista sekä muuntajista. Seuraavissa kappaleissa avataan järjestelmää edellä mainittujen komponenttien näkökulmasta ja tarkastellaan sopivien varaosien olemassa oloa ja määrää käytössä olevaan kantaan nähden.

### 6.2.1 Kaapelit

Sähköenergian siirrossa käytetään aina eristettyjä johtimia. Eristeenä käytetään kaasumaisia tai kiinteitä eristeitä. Kaasumaisista eristeistä ilma on käytetyin. Kiinteitä eristeitä käytetään johtimissa ja kaapeleissa, mutta joskus myös esim. sähköaseman kiskoissa. Asennustapansa perusteella johtimet voidaan jakaa kaapeleihin ja ilmajohtoihin. Ilmajohtot ripustetaan kannakkeiden avulla pylväisiin ja nämä voivat olla ilmakaapeleita tai avojohtoja. Kaapelit asennetaan kaapelihyllyille, kaapelikanaviin, kaivetaan maahan tai pudotetaan suoraan veteen. [47. s. 132]

Outokummun tehdasalueella oleva RIG Oy:n sähkönjakeluverkko on lähes kokonaan kaapeloitu. Ainoana poikkeuksena ovat sähköasemien ja kompensointiyksiköiden aidatut alueet, sekä tehdasverkkoon kytkeytyvä kantaverkko (2x110 kV ja 400 kV). Valtaosa kaapeloinneista kulkee kaapelihyllyillä, joita on rakennettu rakennuksien katoille, lattioille, seinille ja putkisilloille. Maahan kaivettuja kaapeliyhteyksiä tehdasalueella on myös olemassa, mutta tätä asennusmenetelmää esiintyy selkeästi vähemmän ilma-asennustapaan nähden. Tehdasympäristössä ilmaan asennetun kaapelin etuna maahan kaivettuun kaapeliin nähden on vikojen pienempi määrä, kaapelin havaittavuus ja vian

paikantamisen nopeus. Myös saneeraustilanteiden kaapelilisäykset ja purkutoimenpiteet ovat helpompia suorittaa, kun kaapelit eivät ole kaivettuna maahan.

Tehdasalueella prosesseille siirrettävä sähköenergia siirretään kokonaispituudelta noin 70 kilometrin mittaisen kaapeliverkon läpi, jossa käytössä on noin 20 erilaista kaapelityyppiä. Jännitetasot kaapeleissa vaihtelevat 6-110 kV välillä, vuotuisesti siirretyn energiamäärän ollessa noin 3 TWh. Kaapeliverkko koostuu pääosin muovieristeisistä kaapeleista, mutta muutamissa yhteyksissä käytössä on myös vanhoja, öljypaperieristeisiä kaapeleita. Käytetyin kaapelityyppi on AHXAMK-W 3x185+35 mm<sup>2</sup>, jota tehdasalueella on noin 26 kilometriä. Tätä kaapelia on kierrettynä yksijohdinkaapelina ja yhteisellä vaipalla. Tällaisella kaapelilla vedetyt yhteydet ovat yleensä lyhyempiä (10- 100 m), yksittäisten pienempien kohteiden (noin 2 MVA) syöttämiseen tarkoitettuja. Toiseksi käytetyin kaapelityyppi tehdasalueella on AHXCMK 3x1x800 mm<sup>2</sup>, jota on käytössä noin 24 kilometriä. Tätä kaapelia käytetään yleensä pidemmissä yhteyksissä (>100 m), joissa kuormat ovat suurempia (kojeistojen syötöt). Taulukoissa 2 ja 4 on esitetty tehdasalueella käytössä olevat kaapelit, näiden määrät metreinä ja yhteyksinä sekä lajikohtaiset kokonaishinnat. Taulukoiden hinnat perustuvat Energiaviraston ilmoittamiin sähköjakeluverkon komponenttikohtaisiiin yksikköhintoihin vuodelta 2013. Energiaviraston ilmoittamat kaapelikohtaiset hinnat on esitetty liitteessä 3 olevassa taulukossa. Hinnat ovat pyöristettynä lähimpään 50 €, jolla huomioidaan kaapeleiden hintojen muutokset. Tähän vaikuttavat keskeisesti kaapeleiden valmistukseen käytettyjen raaka-aineiden markkinahinnat (öljy, kupari, alumiini). [48]

Taulukoiden tietojen lisäksi tehdasalueella on käytössä myös HXLMMK-W 3x1200 mm<sup>2</sup> kaapelia, joita pitkin syöttö tehdasalueelle osittain tulee. Näitä ei kuitenkaan tässä työssä tarkastella, koska nämä eivät ole RIG:n omaisuutta. Kokonaisuudessaan täysin absoluuttista tarkkuutta kaapelityypeille ja näiden tyyppikohtaisille määrittelyille ei taulukoihin ole määritetty. Syynä tähän yhteyksien suuri määrä ja ajan saatossa muuttuneet kaapelityypit. Tarkkojen tyyppilaskelmien määrittämisessä vaikeutena ovat myös valmistaja- ja suunnittelijakohtaiset merkintäerot.

Vikatilanteen varalta RIG:llä on varauduttu muutamilla, eniten käytössä olevilla kaapeleilla. Varastoituja kaapelityyppejä on 9 erilaista ja nämä löytyvät 16 kelalta vaihtelevan mittaisina päämuuntoasema 1 kentältä ulkotilasta. Kaapeleita inventoitaessa ja kirjattaessa kunnossapitojärjestelmään on tärkeää, että samantyyppisiä kaapeleita ei ole summattu saman ID:n alle, kuten varaosat joiden volyymin yksikkönä käytetään kappaletta (kpl). ID:llä tarkoitetaan tietyistä numerosarjasta muodostuvaa tunnusta, joka syntyy automaattisesti, kun kohde (varaosa, laite, komponentti, työ, jne.) ladataan kunnossapitojärjestelmään. Tämä sen vuoksi, että mahdollisten kiireellisten kaapelinvetojen yhteydessä ei tarvitse yllätyä ilmoitetun kaapelipituuden muodostuvan useammasta osasta. Tällöin välttyään kaapelijatkoksen tekemiseltä. Jatkoksen tekeminen esimerkiksi paljon käytössä olevalle AHXAMK-W 3x185 mm<sup>2</sup> vie aikaa noin 6 tuntia ja vanhemmalle öljypaperieristeiselle APYAKMM 3x240 mm<sup>2</sup> jopa 20 tuntia.



Jokaista käytössä olevaa kaapelityyppiä kohden ei ole varastoituna täysin vastaavaa kaapelityyppiä, mutta vikatilanteen sattuessa tällaisen kaapelin kohdalle, on mahdollista tehdä sekajtko tai lyhyemmän yhteyden kohdalla vetää uusi kaapeli. Toisen kaapelityypin käyttö ja sekajtkon tekeminen voi tulla eteen esim. vanhan öljypaperieristeisen kaapelin vaurioituessa (APYAKMM 3x240), jota on tehdasalueella noin 4 kilometriä. Varaosakaapeleiden ensisijaisena tarkoituksena on riittää jatkoksen tai lyhyen yhteyden uudelleen kaapelointiin. Useimpia kaapeleita on myös saatavilla jopa yksittäisten päivien toimitusajoilla, joten suurempien määrien varastoiminen ei ole järkevää teknisesti eikä taloudellisesti. Kaapeleiden säilymisen kannalta olisi optimaalisinta säilyttää näitä tasaisessa, 0- 20 °C lämpötilassa auringonvalolta suojattuna. Kaapelin päät olisi hyvä myös sulkea. [49] Taulukoissa 3 ja 5 on esitetty tehdasalueelle varastoidut kaapelit ja näiden määrät. Taulukoihin on merkitty myös kuinka monelta kelalta kaapelit löytyvät, hinta metriä kohden ja kaapelityypin kokonaishinta. Hinnat taulukkoihin tulevat vastavasti kuten aiemmin taulukoissa 2 ja 4. Taulukoiden arvot ovat pyöristetty. [50]

Tyypillisimmin tehdasalueella olevia kaapeleita vaurioittavat työkoneet ja luonnonolosuhteet. Luonnonolosuhteet voivat vaurioittaa kaapelia joko suoraan tai välillisesti vaikuttaen ensin kaapelipäätteeseen tai -jatkokseen ja tätä kautta kaapeliin. Vanhempien kaapeleiden kohdalla voidaan törmätä myös eristeiden heikentymisen kautta vaurioituneisiin kaapeleihin (lämpö, läpilyönnit). Kaapeleiden korjaustyöt tehdään oman henkilöstön osalta vain pien- ja keskijännitekaapeleille.

**Taulukko 2.** Tehdasalueella olevat 110 kV kaapelit. [50]

<i>Käytössä olevat kaapelityypit</i>	<i>Kokonaispituus (km)</i>	<i>Yhteyksien määrä (kpl)</i>	<i>Kokonaisarvo (k€)</i>
AHXLMK 3x1x500 mm <sup>2</sup> , 110 kV	3	7	91
AHXLMK 3x1x800 mm <sup>2</sup> , 110 kV	1,5	5	700

**Taulukko 3.** Tehdasalueelle varastoidut 110 kV kaapelit. [50]

<i>Varastossa olevat kaapelityypit</i>	<i>Kokonaispituus (m)</i>	<i>Kelojen määrä (kpl)</i>	<i>Kokonaisarvo (k€)</i>
AHXLMK-W 1x800 mm <sup>2</sup> , 110 kV	185	2	28

**Taulukko 4.** Tehdasalueella olevat 10-33 kV kaapelit. [50]

<i>Käytössä olevat kaapelityypit</i>	<i>Kokonaispituus (km)</i>	<i>Yhteyksien määrä (kpl)</i>	<i>Kokonaisarvo (k€)</i>
--------------------------------------	----------------------------	-------------------------------	--------------------------

AHXAMK/AHXAMK-W 3x185/35 mm <sup>2</sup> , 20 kV (**	26	193	1 300
AHXCMK/AHXCMK-W 3x1x800 mm <sup>2</sup> , 20 kV (*)	24	44	3 600
AHXAMK/AHXAMK-W 3x240/70 mm <sup>2</sup> , 20 kV	4,6	7	230
APYAKMM 3x240 mm <sup>2</sup> , 20 kV	4,3	17	215
AHXCMK/AHXCMK-W/AHXCMK-WTC 3x185/35 mm <sup>2</sup> , 20kV	3,9	22	192,5
AHXCMK/AHXCMK-W 3x1x500 mm <sup>2</sup> , 20 kV	1,1	5	105
HMCCK 3x120 mm <sup>2</sup> , 20 kV	0,7	15	37
AHXAMK-W 3x300 mm <sup>2</sup> , 20 kV (*)	0,3	4	15
HMCCK 3x240 mm <sup>2</sup> , 20 kV	0,1	1	6
AHXCMK 3x1x300 mm <sup>2</sup> , 20 kV	0,02	2	1,1
AHXAMK 3x120+30 mm <sup>2</sup> , 20 kV	0,01	1	0,5

\* = Sisältää 2 kpl:tta 33 kV yhteyksiä

\*\* = Voi sisältää yksittäisiä, 10 kV nimellisjännitteellisiä kaapeleita

**Taulukko 5.** Tehdasalueelle varastoidut 10-33 kV kaapelit. [50]

<i>Varastossa olevat kaapelityypit</i>	<i>Kokonaispituus (m)</i>	<i>Kelojen määrä (kpl)</i>	<i>Kokonais- arvo (k€)</i>
AHXAMK-W 3x185+35 mm <sup>2</sup> , 10kV	55	1	2,8
AHXAMK/AHXAMK-W 3x185+35 mm <sup>2</sup> , 20 kV	313	5	15,7
AHXAMK-W 3x300+70 mm <sup>2</sup> , 20 kV	30	1	1,5
AHXCMK/AHXCMK-WTC 1x800 mm <sup>2</sup> , 20 kV	439	5	2,2
AHXCMK 1x800/35 mm <sup>2</sup> , 30 kV	110	1	5,5

Vikatapaus, johon kyseistä kaapelia ei ole saatavilla, on mahdollista korjata myös muun tyyppisellä kaapelilla. Tällöin keskeisimpinä rajoitteina ovat kaapelin johdinmateriaali,

poikkipinta, nimellisjännite ja sopivan jatkospaketin löytäminen. Asennusreferenssit korjauskertoimiseen on myös hyvä huomioida.

## 6.2.2 Kaapelipäätteet ja -jatkokset

Voimakaapeleiden asentaminen edellyttää kaapelityypille sopivien varusteiden käyttämistä. Kaapelivarusteita ovat kaapelipäätteet ja -jatkokset. Kaapelipäätteet jaetaan ulko- ja sisäpäätteisiin joiden käyttökohteena ovat nimensä mukaisesti sisä- tai ulkokäyttö. Kaapelipäätteen rakenne on yleensä muovi- ja kumimateriaalien seoksia ja tämä on riippuvainen käytetystä kaapelityypistä, jännitteestä ja asennuspaikasta. Kaapelipäätteen tarkoituksena on yhdistää kaapelin johtimet päätteen liitinten välityksellä ulkopuolisiin johtimiin, suojata kaapelin päätä mekaanisesti, pitää kosteus pois kaapelista ja pitää öljy öljykyllästetyissä kaapeleissa. Päätteen tulee kestää vähintään sama rasitus kuin kaapelin. Keski-jännitealueella käytetään kolmea päätetyyppiä: lämpökutiste-, kylmäkutiste- ja pistokepäätteitä. Kaapelijatkoksen tarkoituksena on yhdistää määrämittäisiä kaapeleita sekä tehdä mahdolliseksi kaapelin haaroittaminen. Kaapelijatkoksen rakenne on riippuvainen kaapelityypistä, jännitteestä ja asennuspaikasta. Aikaisemmin käytössä ovat olleet valumuovijatkokset, mutta nykyisin kutistumuovijatkokset ovat syrjäyttäneet nämä. [47. s.142, 51. s.19]

Tehdasalueen järjestelmässä olevien vaihekohtaisten päätteiden määrä on hieman alle 2000 kpl. Jatkoksien määrä jakelukaavion mukaan on noin 10 kpl, mutta tämän suhteen voidaan olettaa määrän olevan selkeästi korkeampi, johtuen ajan saatossa tehdyistä merkitsemättömistä jatkoksista (vikatapaukset). Tehdasalueelta löytyvät kaapelipäätteet ja -jatkokset sekä näihin liittyvät yksittäiset tarvikkeet kuten kaapelikohtaiset vaipan korjaussarjat sekä lisätarvike- ja maadoituspakkaukset sijaitsevat kahdessa varastossa. Varastot sijaitsevat päämuuntoasema 1 läheisyydessä ”muuntajabunkkerissa” ja päämuuntoasema 4. Yhteensä varastoituja päätteitä, jatkoksia, korjaussarjoja ja maadoituspakkauskia on noin 230 kpl, joiden yhteisarvo on noin 85 000 €. Pääte- ja jatkospakettien menekki vuotuisella tasolla on vähäistä, tämän tarkoittaessa yksittäisiä kappaleita. Pääte- ja jatkospakettien menekki on rinnastettavissa ukkosten ja tehdasalueella olevien kaivu- ja rakennustöiden määrään.

Olemassa olevien tietojen perusteella pääte- ja jatkospaketit ovat pääosin hankittu viimeisen 15 vuoden aikana. Tämän vuoksi onkin mahdollista, että kaikki päätteet ja jatkokset eivät ole enää kaikilta osin käyttökelpoisia. Toimittajien kautta saatujen tietojen perusteella joissakin paketeissa onkin vanhenevia osia. Yleisimmin päätteissä ei ollut vanhenevia osia, mikäli näitä oli säilytetty normaaleissa varasto-olosuhteissa. Jatkoksien kohdalla tilanne oli toinen ja mahdollisesti vanhenevia osia ilmeni lähes jokaisessa jatkostyyppissä. Mahdollisesti vanhenevilla osilla tarkoitettiin jatkoksissa käytettäviä täytemassoja (kentänohjausmassa), jotka kuivavat, mikäli varastointiolosuhteet ovat

puutteellisia tai näitä suojaava foliopussi oli rikkiäntunut. Näiden osalta saatu tieto oli hiukan ristiriitaista, sillä SLO:n mukaan heidän toimittamat jatkokset eivät vanhene mikäli foliopussi on ehjä ja varastointiolosuhteet ovat valmistajan suosittelemia. Tycolta saadun tiedon mukaan heidän toimittamissa jatkoksissa kentänohjausmassat vanhenevat 3-4 vuodessa vaikka foliopussi on ehjä ja varastointiolosuhteet ovat suositeltuja. Muita vanhenevia osia, joita jatkospaketit sisälsivät, olivat mm. kentänohjauslevyt, teipit, kylmäkutisteet ja valumuovit. Teippejä, kylmäkutisteita ja valumuoveja sisältävissä paketeissa käyttöajat selviävät paketissa olevista parasta ennen päiväyksistä. Tyypillisesti tämä on muutamista vuosista kymmeneen vuoteen. Vanhenevien osien suhteen paketit on mahdollista päivittää hankkimatta kokonaan uutta pääte- tai jatkospakettia. Joidenkin jatkospakettien vaatimissa lisätarvikepakkauksissa ei ollut kriittisesti vanhenevia osia. Tehdasalueella olevat jatkokset ja päätteet on säilytetty valmistajien suosittelemassa kuivassa, +0 -> °C lämpötilassa. [52, 53]

Siitä huolimatta, että vikatilanteisiin on varauduttu huomattavalla määrällä pääte- ja jatkospaketteja, ei näitä kuitenkaan ole kaikille kaapelityypeille välttämättä edes yksittäisiä kappaleita. Taulukossa 6 on esitetty kaapelityypeittäin käytettävissä olevien sisä- ja ulkopäätteiden sekä jatkosten määrä ilmoitettujen nimellisjännitteiden mukaan. Mahdollisen ylemmän jänniteportaan käyttö alemmassa portaassa voi olla tapauskohtaisesti mahdollista. Tämä on huomioitu taulukon määrissä. Laskennat on suoritettu ns. optimitalanteesta, jossa vika tapahtuu kerralla vain yhdessä kaapelityypissä ja yhdessä jännite- tasossa. Tällöin suurimmat pääte- ja jatkosmäärät ovat taulukon 6, sarakkeiden 3 ja 4 mukaiset. Taulukkoon on lisätty myös kaapelikohtaiset kokonaispituudet ja yhteyksien määrät, jota voidaan käyttää apuna suhteutettaessa pääte- ja jatkospakettien oikeaa määrää. Vastaavasti kuten kaapelit osiossa, ei tämäkään taulukko ole täysin absoluuttinen, johtuen merkintätapojen eroavuuksista valmistajan, ajan, kirjaajan ja suunnittelijan suhteen. Valmistajasta ja kaapelityypistä riippuen paketti voi sisältää pääte- tai jatkostarvikkeet vain yhtä vaihetta kohden. Taulukossa olevat määrät on ilmoitettu kolmea vaihetta kohden selkeyden vuoksi, joten yksittäisiä, vaihekohtaisia päätteitä tai jatkoja voi olla olemassa taulukossa annettujen tietojen lisäksi. Taulukon tiedot pohjautuvat pääte- ja jatkosluetteluihin sekä paketteihin merkittyihin tietoihin.

**Taulukko 6.** Sopivien kaapelipäätteiden ja -jatkoksien määrä tehdasalueen kaapeleille jännitetasojen mukaan

<i>Kaapelityyppi</i>	<i>Kokonaispituus (km). Suluissa yhteyksien määrä (kpl)</i>	<i>Käytettävät <b>sisä-</b> ja <b>ulko-</b> päätteet jännitetasojen mu- kaan (kpl)</i>	<i>Käytettävät jatkokset jännitetasojen mukaan (kpl)</i>
AHXAMK/AHXAMK- W 3x185/35 mm <sup>2</sup> *	26 (193)	< 36 kV: 12, < 25 kV: 46, < 12 kV: 5 30 kV: 13, 20 kV: 3	< 25 kV: 5+2**
AHXCМК/AHXCМК- W 3x1x800 mm <sup>2</sup> *	24 (44)	< 25 kV: 26, < 10 kV: 12 < 52 kV: 3, < 36 kV: 14, < 25 kV: 17, < 10 kV: 17	< 36 kV: 2, < 25 kV: 9, < 12 kV: 6
AHXAMK/AHXAMK- W 3x240/70 mm <sup>2</sup> *	4,6 (7)	< 36 kV: 12, < 25 kV: 46, < 12 kV: 5 < 30 kV: 13, < 20 kV: 13	< 25 kV: 5+2**, < 12 kV: 1**
APYAKMM 3x240 mm <sup>2</sup>	4,3 (17)	< 25 kV: 1	< 25 kV: 3**, < 12 kV: 7**
AHXCМК/AHXCМК- W/AHXCМК-WTC 3x185/35 mm <sup>2</sup> *	3,9 (22)	< 36 kV: 12, < 20 kV: 30+ (9 kpl WTC) < 36 kV: 13	< 25 kV: 2+ (4 kpl WTC)
AHXCМК/AHXCМК- W 3x1x500 mm <sup>2</sup> *	1,1 (7)	< 36 kV: 12, < 25 kV: 26, < 12 kV: 15 < 25 kV: 17	
HMCМК 3x120 mm <sup>2</sup>	0,7 (15)	< 25 kV: 9	
AHXAMK-W 3x300 mm <sup>2</sup> *	0,3 (4)	< 36 kV: 12, < 25 kV: 19, < 12 kV: 5 < 36 kV: 13, < 25 kV: 13	< 12 kV: 1**
HMCМК 3x240 mm <sup>2</sup> *	0,1 (1)	< 36 kV: 11, < 25 kV: 9	
AHXCМК 3x1x300 mm <sup>2</sup> *	0,02 (2)	< 36 kV: 1, < 25 kV: 17 < 36 kV: 13, < 25 kV: 13	< 12 kV: 1**
AHXAMK 3x120+30 mm <sup>2</sup>	0,01 (1)	< 25 kV: 46, < 12 kV: 5	< 20 kV: 5+1**

\* = Rivillä olevat tiedot sisältävät ensisijaisesti 33 kV: n järjestelmään suunnitellut päätteet tai jatkokset (sijaitsevat 33 kV: n varastossa).

\*\* = Ilmoitettuun määrään päästään olemassa olevien lisätarvikepakkauksien avulla. Peruspaketteja voi olla enemmän.

Edellä olevaan taulukkoon ei ole huomioitu tehdasalueella olevia 110 kV:n kaapeliyhteyksiä, koska näihin ei ole varastoituna päätteitä tai jatkoksia. Pätteet tai jatkokset 110 kV:n yhteyksiin tehdään ulkopuolisen toimesta, koska tämä vaatii erikoislaitteistoa ja

satojen henkilötuntien työmäärän. Oman henkilön kouluttamista ja laitteiston hankintaa ei ole RIG:lle hankittu, koska 110 kV:n yhteydet tehdasalueella ovat yksittäisiä. Taulukkoon ei myöskään ole huomioitu mahdollisia pääte- tai jatkospakettien välisiä päätteen tai jatkoksen mahdollistavia yhdistyksiä. Muutamien pakettien välillä tämä voi olla mahdollista. Jatkosmääriä laskettaessa on myös oletettu, että mahdollisesti tarvittavat pientarvikkeet kuten holkit, kengät, teipit jne. on olemassa entuudestaan.

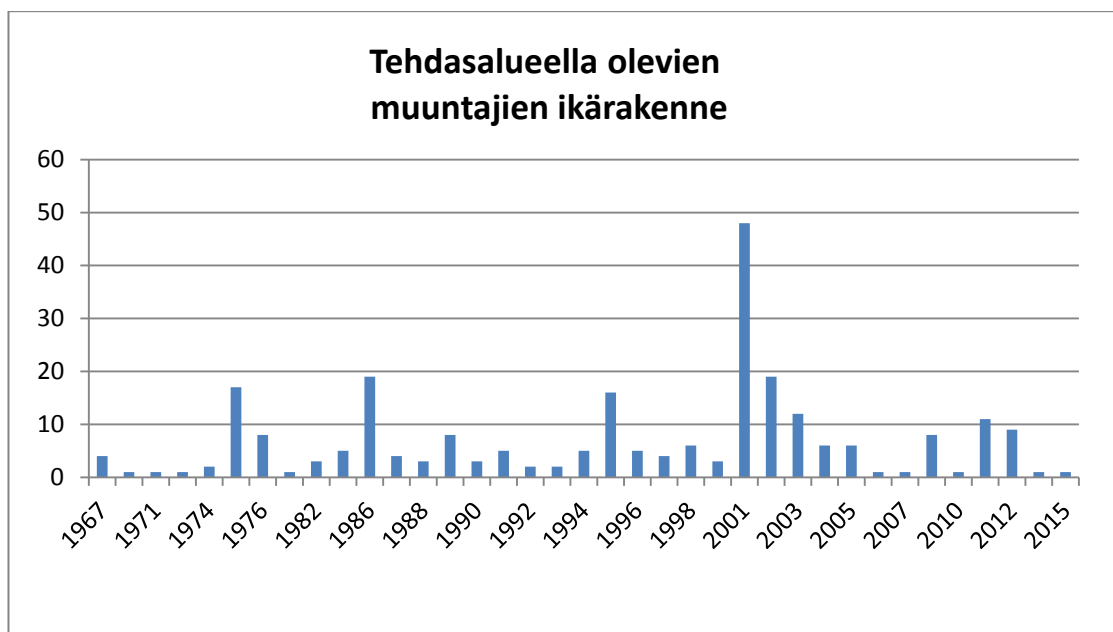
### 6.2.3 Muuntajat

Muuntajan tehtävänä suurentaa ja pienentää vaihtojännitettä voimansiirron ja jakelun kannalta edullisiin arvoihin verkon eri osissa. Jännitteen asettelun lisäksi muuntajien avulla saavutetaan galvaaninen erotus jänniteportaiden välille ja pystytään rajoittamaan oikosulkuvirtoja. Muuntajien välillä voidaan tehdä jakoa eri ryhmien välillä mutta tämä kappale käsittelee lähinnä tehomuuntajia. Tehomuuntajien välillä jako voidaan tehdä pientehomuuntajien ja suurtehomuuntajien välillä. Pientehomuuntajista käytetään myös nimitystä jakelumuuntajat. Tehomuuntajat voidaan jakaa vielä öljyeristeisiin muuntajiin ja kuivamuuntajiin. Tehomuuntaja on verkoston kallein yksittäinen laite ja tämän vaurioituessa aiheutuu pitkä ja kallis korjaus. [54. s.1-3, 55]

RIG:n omistama tehdasverkko sisältää yhteensä 290 muuntajaa, joista 256 kpl on käytössä ja loput varamuuntajina varastoituna tehdasalueelle. Valtaosa varastoiduista muuntajista sijaitsevat päämuuntoasema 5 varastokentällä ulkotiloissa, mutta arvokkaammat muuntajat kuten uunimuuntajat, sijaitsevat puhtaissa ja lämpimissä sisätiloissa sataman kupeessa. Ulkotiloihin varastoidut muuntajat on kytketty verkkovirtaan ohjausyksikköjen kuivana pitoa varten. Tehdasalueen muuntajista kuivamuuntajien ja öljyeristeisten muuntajien määrä on sama, molempia 145 kpl. Öljymuuntajista 8 kpl on hermeettisiä. Öljyeristeisten muuntajien keskimääräinen koko on 14.8 MVA, suurimman ollessa 160 MVA ja pienemmän 1.0 MVA. Kuivamuuntajissa puolestaan keskimääräisenä kokona on 2.4 MVA, suurimman ollessa 3.15 MVA ja pienimmän 1.0 MVA. Hermeettisten muuntajien tehot rajoittuvat välille 0.8- 1.8 MVA. Muuntajien tarkastelussa on otettu huomioon vain RIG:n omistamat muuntajat. RIG:n omistamien muuntajien lisäksi tehdasalueella on noin 10 kpl ulkopuolisen toimijoiden omistuksessa olevia muuntajia. Tarkastelun piiriin kuuluvat myös ne muuntajat, jotka ovat RIG:n omistuksessa, mutta kunnossapitovastuu on ulkopuolisella toimijalla.

Jakeluverkkotoiminnassa yleisin muuntajan muuntosuhde on 20/0.4 kV, näin on myös Outokummun tehdasverkossa. Tämän jännitetason lisäksi käytössä on myös useita muita muuntosuhteita kuten 20/1.2 kV, 20/0.83 kV, 20/0.625 kV, 20/0.2-0.29 kV jne. Yhteensä jänniteportaita on 21 kpl mukaan lukien keskijänniteverkon eri portaot (33 kV, 10 kV, 20 kV ja 6 kV). Muuntosuhteiden tapaan myös eri kytkentäryhmiä on käytössä useita. Suurin osa näistä on standardoituja kytkentöjä, mutta käytössä on myös harvinais-

sempia kytKentöjä kuten li0i0, D(D)y11d0, Dd0+Dy5, Dd0y11y11, Dd0d0d0, Diii11. Näiden käyttökohteena ovat yleisimmin ferrokromi- ja valokaariuunit tai valssauskäytöt. Tehdasalueella olevat muuntajat ovat keskimääräisesti 20 vuotta vanhoja. Kuvaan 19 on kerätty tieto muuntajien ikärakenteesta mukaan lukien varastoidut muuntajat. Kuva ei pidä sisällään kaikkien tehdasalueen muuntajien valmistusvuosia johtuen käytettävissä olevan tiedon puutteesta ja tämän vaikeasta selvitystyöstä. [56]



**Kuva 19.** Tehdasalueella olevien muuntajien ikäjakauma

Varamuuntajien määrä tehdasalueella on 34 kpl ja näiden tehot alkavat 1 MVA:sta ja päättyvät 160 MVA. Näistä 9 kpl on kuivamuuntajia ja loput 25 kpl paisuntasäiliöllisiä öljyeristeisiä muuntajia. Varastoidut muuntajat ovat yksittäisinä varaosina kalleimpia ja näiden yhteenlaskettu jälleenhankinta-arvo on noin 8.2 M €, joka tarkoittaa noin 80 % koko varaosavaraston arvosta.

Muuntajan vauriotilanteen sattuessa voidaan kohteeseen valita varamuuntaja, kun muuntosuhde (jänniteportaat), kytkentäryhmä, teho ja rakenne ovat aiemmin käytössä olleen kanssa vastaavia. Rakenteen osalta kuivamuuntajan käyttö on mahdollista öljymuuntajan tilalla, mutta öljymuuntajan käyttö kuivamuuntajan tilalla ei ole mahdollista. Tehojen osalta on puolestaan mahdollista käyttää suurempi tehoista muuntajaa, ja aiemmasta mitoituksesta ja syötettävän kohteen kriittisyydestä riippuen, voi kysymykseen tulla myös pienempi tehoisen muuntajan käyttö. Tarpeen vaatiessa myös kuormituksen rajoittaminen on mahdollista. Muutettaessa muuntajan tehoa on huomioitava tämän oikosulkuihminen ja tämän vaikutus koko tehdasverkkoon, jotta sähkötekniset reunaehdot ja turvallisuusmääräykset toteutuvat. Aiempien ehtojen lisäksi on myös vaatimuksena, että muuntaja sopii fyysisesti sille tarkoitettuun paikkaan. Korvaavan muuntajan tullessa tilalle voidaan joutua tekemään muutoksia liityntöihin kuten esim. kiskostoihin.

Tehdasalueella muuntajia ei käytetä rinnan lukuun ottamatta päämuuntajia, joiden rinnankäyttö on hetkellistä. [57]

Vaikka muuntajavaurioihin on varauduttu hyvin, ei kaikkiin tilanteisiin kuitenkaan ole olemassa varamuuntajaa. Olemassa olevien varamuuntajien valinnat pohjautuvat aiemmin tehtyihin tarkasteluihin, joissa pohjana on kohteen kriittisyys koko prosessin kannalta. Prosessin kannalta merkittävimmin toimivat päämuuntajat ja ferrokromitehtaan ja terässulaton uunimuuntajat. Näiden jälkeen kriittisimpiä muuntajia ovat kuumavalssaamon ja kylmävalssaamoiden valssauskäyttöjen muuntajat. Kaikkiin em. kohteisiin ei löydy varamuuntajaa. Osassa näistä tilanne voidaan kuitenkin ratkaista ongelma järjestämällä kohteeseen varasyöttö yhteys tai ottamalla muuntaja toisesta kohteesta. Muutamille kohteille varamuuntajaa ei myöskään ole järkevää pitää varastoituna, koska samaa työvaihetta suorittavia prosesseja voi olla useampi kuin yksi.

Muuntajavaurion sattuessa ongelmana ovat näiden toimitusajat, jotka ovat useita kuukausia. Normaalisti tilauksesta tehtävät muuntajat saadaan tehdasalueella yleensä 8-12 kk. ja nopealla toimituksella 5 kk. Nopean toimituksen aikaan ei juurikaan voida vaikuttaa edes rahalla, koska tämän aika koostuu merkittävässä osin erikoismateriaalien hankinta-ajasta. Selvittäessä korjaustoimenpiteillä, on apu mahdollista saada jopa seuraavaksi päiväksi. Korjausaika vaihtelee paljon riippuen siitä mitä kohteesta on vaurioitunut. Vaikka Tornion tehtaiden läheisyydessä on muutakin teollisuutta (Kemi, paperitehtaat), varamuuntajan käyttö ole mahdollista poikkeavien jännitetasojen vuoksi. [57] Muuntajan tyypillisin vauriotekijä on eristeiden heikentymisen seurauksena syntynyt läpilyönti (vikakaasut öljyssä, lämpenemisestä johtuneet ennenaikaiset vanhenemiset). Taulukossa 7 on esitetty tehdasalueella käytössä olevat RIG:n omistamat muuntajat ja näille sopivat varamuuntajat. Tarkastelu on toteutettu siten, että vikatapaus sattuu kerhallaan vain yhdessä kohtaa, jolloin koko varaosakapasiteetti on käytössä. Varamuuntajien saldoon ei ole huomioitu tilannetta, jossa käytöstä pois olevasta tai vähemmän kriittisestä kohteesta otettaisiin muuntaja. Myöskään tilannetta, jossa muuntajan käyttö korvattaisiin kiskostoja tai alajännitepuolen keskuksia yhdistämällä, ei ole tarkastelussa mukana. Kohteen varamuuntajat vastaavat identtisesti (lukuun ottamatta pyöristämällä yhdistettyjä jännitetasoja esim. 21 kV -> 20 kV) alla olevien kohtien osalta käytössä olevaa muuntajaa ellei varmuutta sopivuudesta muuten ole ollut. Tämän vuoksi taulukon antama näkymä varamuuntajista on käytännön tilannetta heikompi. Liitteessä 4 on esitetty RIG:n omistamat varamuuntajat.



**Taulukko 7.** Tehdasalueella olevat RIG:n omistamat muuntajat ja näihin sopivat varamuuntajat

Jännitesuhde (kV)	Teho (kVA)	Kytkentä- ryhmä	Muuntajan rakenne	Käytössä (kpl)	Varastossa (kpl)
110/0,09- 0,44 *	25	li0i0	Öljy	3	2
110/0,1- 0,6 *	45	li0i0	Öljy	3	1
110/20	63	YNd11	Öljy	1	1
110/20	80	YNd11	Öljy	3	
110/20	106	YNd11	Öljy	1	
110/21 / 33	100 / 160	YNd11	Öljy	1	
110/33	160	YNd11	Öljy	1	
20/0,202- 0,295	7	li0	Öljy	1	
20/0,22	24	D/111	Öljy	1	
20/0,318	1,015	Dd0y11y11	Öljy	1	
20/0,4	0,8	Dyn11	Hermeettinen	1	
20/0,4	1	Dyn11	Hermeettinen	2	2
20/0,4	1	Dyn11	Kuiva	2	2
20/0,4	1	Dyn11	Öljy	2	2
20/0,4	1,5	Dyn11	Öljy	2	2
20/0,4	1,6	Dyn11	Hermeettinen	4	1
20/0,4	1,8	Dd0d0d0	Hermeettinen	1	
20/0,4	2	Dyn11	Kuiva	82	3
20/0,4 **	2	Dyn12	Kuiva	1	3
20/0,4	2	Dyn11	Öljy	39	3
20/0,4	2	Dyn5	Öljy	2	
20/0,4	2,5	Dyn11	Kuiva	1	
20/0,4	3,15	Dyn11	Kuiva	3	1
20/0,525	1,6	Dy11	Öljy	1	
20/0,525	2	Dy11	Öljy	1	
20/0,525	2	YNy0	Öljy	1	
20/0,625	3,2	Dy11d0	Öljy	3	
20/0,625	4,4	Dy11d0	Öljy	3	
20/0,69	1,6	Dyn11	Öljy	1	
20/0,69	3,15	Dyn11	Kuiva	41	6
20/0,69	3,15	Yyn0	Kuiva	5	1
20/0,69	3,15	Dyn11	Öljy	7	6
20/0,71	1	Dyn11	Kuiva	1	
20/0,83	3	Dy11d0	Öljy	6	1
20/0,94	10	Dy5	Öljy	3	
20/1	3	Dy11d0	Öljy	6	
20/1	3,4	Dy11d0	Öljy	3	
20/1	8,5	Dd0+Dy5	Öljy	3	
20/1	18	Dd0d0d0	Öljy	3	
20/1,2	4,2	D(D)y11d0	Öljy	5	1
20/1,2	5,04	Dy11d0	Öljy	1	1
20/6,3	6,3	Dyn11	Öljy	3	
33/0,7-1,3	160	Dd10	Öljy	1	1

\* = Muuntaja varustettu 20 kV kompensointikämin

\*\* = Kohteessa voidaan käyttää Dyn11-kytkentäryhmällä varustettua muuntajaa, kun muut sähköiset arvot täsmäävät

## 6.2.4 Katkaisijat ja erottimet

Kytkinlaitteiden tehtävänä on muuttaa tarvittaessa sähköverkon topologiaa ja ohjata sähköenergian kulkua verkossa, irrottaa viallinen osa verkosta mahdollisimman nopeasti vahinkojen ja kustannusten minimoimiseksi sekä toimia tarvittaessa verkoston osien erotuskohtana. Suurvoimansiirrossa tärkeimmät kytkinlaitteet ovat erottimet, katkaisijat, kuormaerottimet ja kytkimet. [58. s. 161]

Katkaisijat ovat voimansiirtoverkon kalleimpia ja tärkeimpiä kytkinlaitteita, joita käytetään virtapiirin avaamiseen ja sulkemiseen, ja jotka voivat olla automaattisesti tai käsin ohjattuja. Katkaisijoiden kohdalla jako ryhmiin voidaan tehdä valokaaren sammuttavan ja jännitteisten osien erottavan eristysaineen perusteella. Ryhmiä ovat mm. ilma- ja paineilmakatkaisijat, öljy- ja vähäöljykatkaisijat, SF<sub>6</sub>-katkaisijat (kaasukatkaisijat) ja tyhjiökatkaisijat. Toisena tapana jaotella katkaisijat on jako katkaisukammion potentiaalilin perusteella. Tällöin tarkastellaan onko katkaisukammio suurjännitteen määräämässä potentiaalissa vai maan potentiaalissa. Yleisin automaattinen katkaisijan toiminto on ylivirran (esimerkiksi oiko- tai maasulun aiheuttama) seurauksena syntynyt katkaisijan avautuminen. Tyypillistä katkaisijalle on sen kyky säilyä vaurioitumattomana avatessa tai sulkiessa oikosulkupiiri, kun piirin virta on moninkertainen katkaisijan mitoitusvirtaan nähden. [58. s.162-169]

RIG:n omistama järjestelmä sisältää yhteensä 531 katkaisijaa, joista käytössä olevien määrä on 409 kpl:tta, varalähdöissä olevien määrä 68 kpl:tta ja irrallaan olevien määrä 54 kpl:tta. Katkaisijoiden yhteenlaskettu arvo on noin 8 M €, joka tarkoittaa noin 13 %:a koko tehdasverkon arvosta. Tästä irrallaan olevien katkaisijoiden arvo on hieman alle 850 000 € ja varalähdöissä kiinni olevien arvo hieman yli 1 M €. Tehdasalueella irrallaan olevia katkaisijoita ei ole varastoitu varastotiloihin, vaan nämä löytyvät tehdasalueen sähkötiloista viimeksi käytettyjen lähtöjen läheisyydestä. Koska irrallaan ja varalähdöissä olevien katkaisijoiden määrä vaihtelee jonkin verran verkon tilanteen mukaan, ovat katkaisijoiden arvot ja määrät suuntaa-antavia eri luokissa. Edellä mainitut arvot perustuvat helmikuun ensimmäisellä viikolla kunnossapitojärjestelmästä ladattuun katkaisijatiedostoon.

Tehtäessä jakoa RIG:n omistamista katkaisijoista jännitteisten osien erottavan eristeaineen perusteella, on tyhjiökatkaisijoiden määrä suurin, joita tehdasalueella on 271 kpl. Tämän jälkeen tulevat SF<sub>6</sub>-eristeiset katkaisijat 137 kpl ja vähäöljykatkaisijat 120 kpl. Tehdasalueelta löytyy myös yksittäisiä paineilma- ja pj-katkaisijoita. Katkaisijamalleja puolestaan tehdasalueelta löytyy 72 kpl, joihin on huomioitu koko katkaisijakokonaisuus. Eli mikäli vastaavaa katkaisijaa löytyy kahdesta eri sovitteesta, on tyyppejä kaksi tai mikäli vastaava katkaisija sisältää alijännittekelan, on nämä eritelty omiksi tyypeiksi.

Vaikka varalla olevia katkaisijoita on hyvin, ei kaikkiin kohteisiin kuitenkaan ole sopivaa varakatkaisijakokonaisuutta. Vikatilanteen sattuessa useaan kohteeseen on kuitenkin mahdollista järjestää syöttö varalla olevan yhteyden kautta tai ohjaamalla sähköenergia

muuta yhteyksiä pitkin kohteeseen. Valittaessa kohteeseen sopivaa varakatkaisijaa on huomioita katkaisijatyyppejä, kojeistokohtainen sovite, jännite- ja virtataso sekä mahdollinen alijännitekela. Liitteessä 5 olevassa taulukossa on esitetty tehdasalueella käytössä olevien katkaisijoiden määrät tyypeittäin. Taulukkoon on kerätty tämän hetkisen tiedon perusteella jokaista käytössä olevaa katkaisijatyyppeä vastaavat irrallaan ja varalähdöissä olevat katkaisijat, joita voidaan käyttää vikatilanteen sattuessa. Vertailu on suoritettu katkaisijan tyyppimerkinnän, katkaisijan kojeistokohtaisen sovitteen, virta- ja jännitetason sekä mahdollisen alijännitekelan perusteella. Todellisuudessa tilanne varakatkaisijoiden suhteen on parempi kuin taulukko kertoo, koska vertailu on suoritettu siten, että tiedot käytössä olevan ja varalla olevan katkaisijan välillä ovat täysin vastaavat. Käytännössä samat sähköiset arvot omaava erityyppinen katkaisija voi olla sopiva kohteeseen pienien muutostöiden jälkeen (esim. alijännitekelan lisäys tai poisto). Täysin varmaan sopivuuteen ei myöskään päästä vaikka katkaisija- ja sovitemerkinnät ovat vastaavia, koska esim. kiskostot kojeistoissa voivat olla hiukan erilaisia.

Tehdasalueella olevien katkaisijoiden vikataajuus on kymmenluokkaa vuodessa. Yleisimmin katkaisijoiden viat liittyvät virituskoneistoihin ja valtaosin nämä pystytään korjaamaan oman henkilöstön toimesta. Joissakin vikatapauksissa voidaan kuitenkin joutua turvautumaan ulkopuoliseen apuun olemassa olevan koestuslaitekannan puutteiden vuoksi. Suurimman ongelman korjaustapaukseen muodostavat varaosat, joiden toimitusajat ovat usein pitkiä. Joskus varaosia voidaan joutua myös teettämään varaosien saatavuuden tai mahdollisen kehitystoimenpiteen seurauksena. Katkaisijakokonaisuus muodostuu ohjaimesta, katkaisijapilarista ja virituskoneistosta. Näihin liittyviä varaosia RIG:ltä löytyy hyvin tapauskohtaisesti.

Erottimen tehtävänä on tehdä järjestelmän osa jännitteettömäksi turvallisista työskentelemään varten ja muodostaa turvallinen avausväli erotettavan virtapiirin ja muun järjestelmän välillä. Nämä tehtävät edellyttävät, että jännitelujuus ilmapälissä on suurempi kuin muun ympäröivän eristyksen jännitelujuus sekä erottimen avausväli on näkyvä tai osoitettu luotettavalla mekaanisella asennonosoituksella. Erottimien tehtävänä ei ole katkaista kuormitettua virtapiiriä, jonka vuoksi erottimelta ei vaadita katkaisijoiden tapaan virran katkaisu- tai sulkemiskykyä (käytännössä kuitenkin mahdollista katkaista esim. muuntajan tyhjäkäyntivirta). Perinteisten erottimien lisäksi on olemassa kuormaerottimia, jotka ovat katkaisijan ja erottimen välimuotoja sekä keinoavaimia, joita käytetään korvaamaan muuntajakatkaisijoita. Erottimet voivat olla yksi tai kolminapaisia ja nämä voivat olla paikallis- tai kauko-ohjattuja. Turvallisuussyistä erottimet on kyettävä lukitsemaan auki- tai kiinniasentoon. [58. s. 190- 196]

RIG:n omistama järjestelmä pitää sisällään yhteensä 105 erotinta, joista 5 kpl ei ole käytössä. Ei-käytössä tilalla tarkoitetaan tässä tapauksessa sitä, että erotin on fyysisesti omalla paikalla, mutta yhteys ei ole käytössä. Erottimet ovat kuitenkin säännöllisesti tarkastettuja ja huollettu, jonka vuoksi nämä ovat täysin toimintakuntoisia ja tarvittaessa käyttöön otettavia. Kauko-ohjattavien erottimien määrä on 51 kpl ja nämä liittyvät 110

kV:n GIS-kojeistoihin. Kuormaerottimia tehdasalueella on vain kylmävalssaamon kiinteässä kompensoinnissa, mutta nämä eivät ole tarkoituksensa mukaisessa käytössä. Keinovikaerottimia tehdasalueella ei ole. Kaikki tehdasalueella olevat erottimet ovat kolminapaisia samalla rungolla olevia ja näiden turvallinen erottaminen on huomattavissa näkyvän avausvälin avulla, lukuun ottamatta GIS-kojeistoa, jossa käytössä ovat asennonosoitukset. Tyypillisimpiä kohteita erottimien sijainnille tehdasalueen järjestelmässä ovat 110 kV GIS, uunikäytöt ja kompensointiyksiköt. Keskimääräisenä, täydellisen erotinlaitteiston hintana voidaan pitää 6 000 €, ei kuitenkaan GIS-kojeiston kohdalla.

Erottimien kohdalla tarkastelua ei voida tehdä vastaavasti kuten muille komponenteille, koska varsinaisia varaerottimia RIG:llä ei ole. Erottimien varaosien suhteen tilanne on myös vastaava, olemassa olevat varaosat ovat hyvin sattumanvaraisia (joitakin ohjainmoottoreita), eikä näitä ole jokaista olemassa olevaa erotinta kohden. Syynä tähän, että varaerottimia tai varaosia ei ole, on vikataajuus, jonka suuruusluokka on yksittäisiä kappaleita kymmentä vuotta kohden. Myös erottimien kriittisyys koko järjestelmän näkökulmasta on pieni verrattuna esim. muuntajiin. Tyypillisimmin erotinlaitteistossa oleva vika liittyy ohjainmoottoreihin, eristimiin tai ohjaustankoihin. Mikäli kyseessä on vaurio mihin ei ole varaosaa, voidaan joutua tekemään kiskotus erotinlaitteiston yli.

Huolto- ja korjaustoimenpiteet erottimille tehdään oman henkilöstön toimesta. Erottimien vaihto vähemmän kriittisesti kohteesta ei ole käytännössä mahdollista, koska erotin tyyppejä on useita ja vastaavien erotintyyppien välillä kriittisyydessä ei välttämättä ole suurta eroa. Erottimien kohdalla varaosien toimitusajat ovat usein pitkiä, johtuen poikkeavista tyypeistä jakeluverkkotoiminnassa käytettyihin erotinlaitteistoihin nähden (esim. virta-arvot).

## 6.2.5 Kompensaattorit

Loistehotasapainon ylläpitämiseen sähköverkossa käytetään kompensointiyksiköitä, jotka voivat olla kiinteästi mitoitettuja ja säädettäviä. Kompensointiyksikön pääkomponentteja ovat kondensaattorit (yleensä paristoja) ja reaktorit, jotka voidaan jakaa tehtävänsä mukaan keloihin ja kuristimiin. Kondensaattorin päätehtävänä on kompensoida induktiivista loistehoa (tuottaa kapasitiivista), jota mm. epätahtimoottorit, muuntajat ja suuntaajakäytöt kuluttavat. Kelojen päätarkoituksena voi olla loistehon kompensointi (käänteinen kondensaattoriin nähden), oikosulku- ja kytkentävirtojen rajoitukset sekä ylijännitteiden vaimentaminen. Kompensoinnin lisäksi kelojen ja kondensaattorien käyttökohteena ovat erilaiset suodatinratkaisut. Kompensoinnin tavoitteena on pienentää johtimien poikkipintaa ja sulakkeiden kokoa, rajoittaa käynnistysvirtaa, minimoida häviöitä ja suodattaa yliaaltoja. [59. s.48-52; 58-59; 81]

Silloin kun vaihtojännite ja -virta eivät ole sinimuotoista, on käyrämuoto säröytynyt. Käyrän säröytymisen syynä ovat epälineaariset kuormat kuten suuntaajakäytöt, hitsauslaitteet, tietokoneet, muuntajat ja valokaariuunit. [56. s.26] Yliaaltopitoisessa verkossa näiden haittojen vähentämiseen käytetään erilaisia suodatinratkaisuja. Suodatinratkaisut jaetaan aktiivi- ja passiivisuodattimiin. Aktiivisuodattimien toiminta perustuu puolijohdetekniikkaan ja tämän etuna saavutetaan nimensä mukaisesti aktiivinen reagointi verkkotilaan. Passiivisella suodatuksella tarkoitetaan imupiireihin perustuvaa suodatusta, jonka toiminta pohjautuu kondensaattorien ja induktanssien sarjaresonanssiipiiriin. Passiivisuodatin mitoitetaan yhdelle tai useammalle kiinteälle taajuudelle. [59. s.52-63]

### ***Kompensointi ja yliaaltojen suodatus Outokumpu Tornio Worksin tehdasalueella***

RIG:n omistamat kompensointiyksiköt koostuvat 5 säätyvästä ja 7 kiinteästä yksiköstä. Säätyvien yksiköiden yhteenlaskettu kompensointiteho on noin 550 MVar, kun taas kiinteiden yksiköiden yhteenlaskettu teho on noin 170 MVar. Säätyvistä yksiköistä neljällä toiminta perustuu tyristoriohjattuihin reaktoreihin ja yhdellä yksiköllä transistoritekniikkaan. Transistoritekniikan etuna tyristoriohjattuun nähden on sen nopeus, tarkkuus ja riippumattomuus verkkojännitteeseen nähden. Säätyvän kompensoinnin kohteita ovat Outokummulla kuuma- ja kylmävalssaamo sekä valokaariuunit 1 ja 2. Kiinteän, katkaisijoilla kytkettävän kompensoinnin kohteena ovat kuormitukset, joiden vaihtelu on vähäisempää. Vanhin säätyvä, Alstomin valmistama kompensointiyksikkö on vuodelta 1989, joka toimii tällä hetkellä varayksikkönä valokaariuuni 1:n kompensoinnissa.

Kompensoinnin lisäksi yksiköiden tehtävänä on suodattaa tehtaan prosessien tuottamia yliaaltoja. Suurimpia yliaaltojen tuottajia tehdasalueella ovat valokaariuunit ja tasa- ja vaihtosuuntaajakäytöt. Pienempiä yliaaltolähteitä ovat mm. tyristorisäätimet, puolijohdekytkimet, hitsauslaitteet ja moottoreiden magneettiipiirit. Tehdasverkossa yliaaltojen suodatus alkaa 2. yliaallosta ja päättyy 60. yliaaltoon. Suurempien (25,60) taajuuksien suodatukselta kykenee suoriutumaan vain transistoritekniikkaan pohjautuva, valokaariuuni 2:n kompensointiyksikkö. Muut säätyvät yksiköt suodattavat enintään 7. yliaaltoa. Kiinteiden yksiköiden puolella päästään 13. yliaaltoon.

Säätyvän kompensointiyksikön keskeisimmät komponentteja ovat kondensaattorit, kelat (reaktorit, kuristimet, suodatinyksikköjen kelat), vastukset, tyristori- tai transistoriventtiilit sekä automatiikka, joka sisältää MACH-tietokoneen, I/O-kortteja ja jäähdytysjärjestelmään liittyvän ohjaustekniikan. Kiinteiden kompensointiyksiköiden keskeisimmät komponentit ovat kelat ja kondensaattorit.

### ***Kelat ja kondensaattorit***

Huomioitaessa kaikki kompensointiyksiköt, on reaktorityyppejä yhteensä 41 kpl, joista seuraa 141 kelan kokonaismäärä. Reaktoreiden osalta jako voidaan tehdä suodatuskeiloihin, varsinaisiin virtaohjattuihin reaktoreihin sekä vaimennuskuristimiin. Virtaohjat-

tujen reaktoreiden määrä tästä on 24 ja vaimennuskuristimien määrä 6 kpl. Käytössä olevista reaktoreista suurimman osan muodostavat Nokia Capasitorsin valmistamat reaktorit, joita on 58 kpl. Seuraavaksi eniten tehdasalueella on Trench Electricin valmistamia reaktoreita, joita on 54 kpl. Loput reaktoreista ovat Coilinnovationin, ABB/Haefelyn ja Alstomin valmistamia.

Reaktoreiden kohdalla varaosana olevia kohteita tehdasalueella ei ole. Syynä tähän on reaktoreiden pieni vikaantumistodennäköisyys (vanhimmat reaktorit tehdasalueella yli 30 vuotta) ja korkea hinta (taloudellisesti järkevää minimoida omaisuuteen sitoutunut rahamäärä). Suurena lisäsyynä reaktoreiden varastoimattomuudella on myös järjestelymahdollisuudet vikatilanteessa. Esimerkkinä tästä voidaan käyttää suodatinparistoa, joka tarvittaessa voidaan irrottaa tehdasverkosta (suodatettavasta yliaallosta riippuen kuormitusta rajoitettava tapauskohtaisesti). Toisena esimerkkinä voidaan pitää kesällä 2015 vaurioitunutta tyristoriohjattua reaktoria, jossa reaktorista poistettiin sisimmäinen kerros käämiä. Käämin poiston jälkeen prosessia kyettiin ajamaan hieman rajoitetuin kuormitusehdoin. Reaktoreiden vikaantuessa ongelmana on näiden ristiin sopimattomuus eri yksiköiden välillä ja pitkä toimitusaika (noin 6 kk). Kaikki tehdasalueella olevat reaktorit ovat yksityiskohtaisesti mitoitettuja, josta seuraa, että sähköiset ja mekaaniset arvot eivät täsmää minkään yksikön välillä. Reaktoreiden hinnat vaihtelevat 15 000 €:n ja 1 000 000 €:n välillä.

Kuvassa 20 on esitetty vaurioituneen tyristoriohjatun reaktorin vaihtotoimenpidettä valokaariuuni 1 kompensointiyksiköstä. Vaurioituminen oli seurausta kohteen vanhenemisesta (käytössä lähes 20 vuotta). Kuvassa oleva kompensointiyksikkö on tehdasalueen vanhin säätävä ja ainoa yksikkö, johon on vaihdettu reaktoreita. Reaktoreiden vaihtotoimenpiteet suoritetaan oman henkilöstön toimesta. Reaktoreita ei juuri ole mahdollista korjata. Liitteessä 6 on esitetty käytössä olevat reaktorit tyypeittäin.



**Kuva 20.** *Vaurioituneen tyristoriohjatun reaktorin vaihtotoimenpidettä valokaariuuni 1 kompensointiyksikössä. [60]*

Kompensointiyksikköjen toiseksi merkittävimpanä komponenttina voidaan pitää kondensaattoreita. Kondensaattoreiden yhteenlaskettu määrä RIG:n omistamassa järjestelmässä on 1925 kpl, joka muodostuu 25 erityyppisestä kondensaattorista. Kondensaattoreista suurimman osan muodostavat Nokia Capacitorsin valmistamat yksiköt, joita on 922 kpl. Tämän jälkeen seuraavaksi eniten on ABB:n valmistamia, joita on 859 kpl. Loput kompensointikäytössä olevista kondensaattoreista on AEG:n valmistamia. Varastoitujen kondensaattoreiden arvo on noin 350 000 €.

Valittaessa kondensaattoriyksikköä vioittuneen yksikön tilalle on ensimmäisenä huomioita kondensaattorin valmistaja ja malli. Valmistajatiedon ja mallimerkinnän avulla saadaan selvitettyä kondensaattoriyksikön mekaaninen sopivuus kyseessä olevan suodatinyksikön telineeseen. Tämän jälkeen selvitetään kondensaattoriyksikön kapasitanssi ja jännite. Nämä tiedot ovat olennaisimpia, ja näiden avulla alkuperäinen suunnitelma kompensoinnin tehokkuudesta on suoritettu. Käytettäessä kondensaattoria, jossa kapasitanssi poikkeaa alkuperäisestä, voi syntyä epäsymmetria tilanne kuormituksista vaiheiden välille. Poikettaessa kondensaattoriyksikön nimellisjännitteestä, jakautuu jännite poikkeavasti, jolloin yksiköt voivat vaurioitua ennenaikaisesti (suodatinparistoissa ole-

vat kondensaattorit kytkeytyvät toisiinsa erilaisten rinnan- ja sarjaan kytkentöjen avulla. Kondensaattorivalinnassa on huomioitava myös kondensaattorin teho, jonka täytyy olla likimain sama. Tehon poiketessa on vain huomioita kondensaattorin mahdollisesti muuttuva koko, kiinnitykset ja liitännät. Vikatilanteen sattuessa kondensaattorin vaihtotyöt kyetään tekemään oman henkilöstön toimesta. Mahdolliset kapasitanssin määritykset on mahdollista tehdä myös oman henkilöstön toimesta, mutta kondensaattorin korjaustilanteessa (esimerkiksi sulakevaurio) on käytettävä ulkopuolista työvoimaa. Kondensaattorivaihdot ovat nykyisin harvinaisempia, mutta aikaisemmin nämä ovat olleet yksi työllistävimmistä kompensointiyksiköihin liittyvistä korjaustoimenpiteistä. Syytä tähän ei ole saatu varmistettua, mutta epäilynä on ollut, että valmistuserä olisi ollut poikkeava.

Mikäli syntyy vikatilanne, johon ei ole olemassa varaosaa, on mahdollista, että kyseinen suodatinyksikkö poistetaan käytöstä korvaavan osan saapumiseen saakka. Tällöin joudutaan mahdollisesti rajoittamaan kompensoitavan kuormituksen tehoa. Liitteen 7 taulukkoon on kerätty tehdasalueella käytössä ja varaosana olevat RIG:n omistamat kondensaattorit. Taulukon laskelmiin on huomioitu myös käytetyt ja sulakevikaiset kondensaattoriyksiköt. Poikkeavat kohteet on merkitty ja näistä löytyy tarkennukset taulukon alalaidasta. Taulukossa olevat kapasitanssiarvot on pyöristetty lähimpään kymmenyksen. Vertailu on suoritettu tyyppimerkinnän perusteella.

Kondensaattoreiden ja kelojen lisäksi kompensointiyksiköissä voi olla käytössä vaimennusvastuksia (filtterivastus). Vaimennusvastuksen avulla saadaan säädettyä suodatinpariston suodatustaajuusalueetta laajemmaksi, jolloin yliaaltotaajuus ”tarttuu” paremmin suodatukseen. Vaimennusvastuksia on käytössä neljässä säätyvässä kompensointiyksikössä, ja näitä on varaosina vain yhtä kokoa, joka on tarkoitettu transistoritekniikkaan pohjautuvaan SVC-light kompensointiyksikköön. Komponenttina vastukset ovat pitkäikäisiä ja nopeasti vaihdettavia oman henkilöstön toimesta. Tästä suodatustekniikasta käytetään nimitystä laajakaistainen suodatin. [61]

### ***Tehopuolijohteet ja automaatio***

Tehopuolijohteet ovat kompensointiyksiköissä olevia komponenttia, joiden avulla säädetään reaktoreiden virtaa. Reaktoreiden virransäädön tarkoituksena on ohjata verkkoon syötettävää loistehon määrää, jota useat tehtaan prosessit kuluttajat. Tehopuolijohteista puhuttaessa tehtaan kompensointeihin liittyen on kyseessä säätyvien yksikköjen tyristori- tai transistoriventtiilit. Tyristoriventtiileillä säädettyjä kompensointiyksiköjä tehdasalueella on neljä, kun taas transistoriventtiileillä (IGBT) ohjattuja kompensointiyksiköjä on yksi. Transistoriventtiilin erona tyristoriventtiiliin on tämän suuri kytkentänopeus (jopa 20 kHz), virrankatkaisu mahdollisuus halutulla hetkellä sekä pienet päästöhäviöt. Haittana transistoritekniikassa ovat suuret kytkentähäviöt ja tyristoritekniikkaan nähden pienemmät ohjattavat tehot. [62] Transistoritekniikkaan perustuvalla kom-



pensoinnilla kyetään tyristoriohjattuun nähden tuottamaan verkkoon myös kapasitiivista loistehoa.

Varaosina tehopuolijohteet ovat yksikkökohtaisia, jonka vuoksi näitä ei voida käyttää ristiin eri kompensointiyksiköiden välillä. Venttiileiden väliset eroavaisuudet johtuvat sähköisten arvojen poikkeavuudesta kuten ohjattavat virrat, venttiileiden yli olevat jännitteet (kytketty sarjaan ja venttiilejä eri määrä eri yksiköissä), liipaisukulmat, liitosvaraukset ja vuotovirrat. Eri venttiileiden välillä myös fyysinen koko on muuttuva tekijä. Vikatilanteessa tyristori- tai transistoriventtiilin vaihtotyö voidaan suorittaa oman henkilöstön toimesta. Venttiileiden vaihdot ovat aikaisemmin olleet kompensointiyksikköjen työllistävimpiä työtoimenpiteitä kondensaattorivaihtojen ohella. Venttiilin vaurioituessa ongelman aiheuttavat näiden pitkät toimitusajat ja korkea hankintahinta, joka keskimääräisesti on noin 7500 € (tyristoripaketit noin 5000 € ja transistoripaketit noin 10 000€). Yhteensä varaosana oleviin venttiilipaketteihin on sitoutunut noin 700 000€:n pääoma. Taulukkoon 8 on kerätty tehdasalueella käytössä olevat venttiilimäärät ja näitä vastaavat varastoidut varaosamäärät. Kylmävalssaamon kompensoinnissa on käytössä kahta eri venttiilityyppiä, mikä täytyy huomioda vaihdettaessa näitä. Muissa kohteissa varaosan valmistaja tai tyyppimerkintä voi poiketa olemassa olevasta, mutta tällä ei ole merkitystä toimintaan.

**Taulukko 8.** Tehdasalueella käytössä ja varastossa olevat tehopuolijohteet

<u>Valmistaja ja kohde</u>	<u>Käytössä olevien tehopuolijohteiden määrä (kpl)</u>	<u>Varastossa olevien tehopuolijohteiden määrä (kpl)</u>
<b>ABB</b> JT-sulatto, valokaariuuni 2	288 (diodi) ja 288 (transistori)	7 (diodi) + 18 (transistori)
<b>ABB/Nokia Capasitors</b> Kylmävalssaamo	36 (Eupec) + 72 (Dynex)	8 (Eupec) + 49 (Dynex)
<b>ABB</b> Kuumavalssaamo	66	9
<b>ABB/Nokia Capasitors</b> JT-sulatto, valokaariuuni 1	120	13
<b>Alstom</b> (varalla) JT-sulatto, valokaariuuni 1	48	2

Automaation päällimmäisenä tehtävänä kompensoinnissa (säätävät) on säätää loistehon syöttöä verkkoon. Automaatiojärjestelmän keskeisimpiä osia ovat järjestelmää seuraava ja ohjaava tietokone, I/O-kortit (myös yksittäiset muut piirikortit, jotka eivät ole I/O-kortteja), jäähdytysjärjestelmä ja kenttälaitteet. Tässä osassa tarkastelun piiriin kuuluvat ainoastaan I/O-kortit, mutta todettakoon komponentin kriittisyyden vuoksi, että jokaiseen kompensointiyksikköön löytyy vähintään yksi varakone. Tietokoneiden kokonaismäärä on 21 kpl, varaosana näitä on 11 kpl ja nämä eivät ole sopivia eri kompensointiyksikköjen välillä. Yhtä lukuun ottamatta kaikki varaosana olevat tietokoneet ovat

kokonaisia ja toimivia suoraan käyttökohteeseensa. Tietokoneiden arvo vaihtelee jonkin verran kompensoinnista riippuen, mutta keskimääräisenä arvona voidaan pitää noin 4 000€ kpl. I/O-korttien osalta varalla oleva Alstomin kompensointiyksikkö myös jää tarkastelun ulkopuolelle (lukuun ottamatta varastoarvoa ja -määrää), koska näihin liittyvissä vikatapauksissa joudutaan turvautumaan ulkopuoliseen apuun. Alstomin kompensointiin löytyy satunnaisia I/O-kortteja, mutta nämä eivät ole laskennoissa mukana.

Kompensointiyksikköjen I/O-korttimäärä on yhteensä 358 kpl, jotka muodostuvat 53 erityyppisestä kortista. Suurimman määrän näistä muodostavat ABB:n kortit, joita on 222 kpl. Seuraavaksi tulevat Nokia Capasitorsin valmistamat kortit, joita on 136 kpl. Kuvaan 17 on kerätty kompensointiyksiköissä käytössä olevia piirikortteja ja tehopuoli-johteita. Kuvan yläalaidassa on Nokia Capasitorsin kompensointiyksikköön kuuluva tyristori ja I/O-kortteja. Kuvan alalaidassa puolestaan on ABB:n SVC-light kompensointiyksikköön tarkoitettuja I/O-kortteja, diodi ja tämän ohjauskortti (vasen alalaita) ja Transistori ja tämän ohjauskortti (oikea alalaita).



**Kuva 21.** *I/O-kortteja ja tehopuoli-johteita*

Varaosana I/O-kortteja löytyy 67 eri tyyppiä. Siitä huolimatta vaikka varaosana olevien korttien määrä on suurempi kuin käytössä olevien, ei jokaista käytössä olevaa korttia kohden ole olemassa varaosakorttia. Syynä tähän on ajansaatossa tapahtuneet moderni-

saatiot ja päivitykset. Käytössä olevia 53 korttia kohden vastaava kortti löytyy 41 kohteeseen. Tuloksessa voi olla poikkeamaa, koska vertailu on suoritettu identtisen tyyppimerkinnän perusteella ja tietoa esim. saman kortin revisio muutoksesta ei ole ollut käytettävissä (esim. kortista 3SP05A ja 3SP05B). Tällainen tapaus täytyy selvittää tapauskohtaisesti valmistajan kautta. Varastoitavista varaosista I/O-kortit muodostavat 101 (125) kpl:een määrällä noin 140 000 (160 000) € rahamäärän. I/O-korttien tyyppikohtaiset hinnat vaihtelevat suuresti, aina muutamista sadoista euroista jopa 20 000€:on saakka ja näiden hinnat vaihtelevat ajan funktiona suuresti (kasvavasti). I/O-korttien vaihtotyö pystytään suorittamaan oman henkilöstö toimesta, mutta korttien ohjelmointi- tai korjaustyössä on käytettävä ulkopuolista apua. Ongelmana I/O-kortteihin liittyvissä vioissa on näiden saatavuus ja sopimattomuus eri järjestelmien välillä.

### 6.2.6 Suojareleet

Suojareleet ovat yksi suojausjärjestelmän osa, jonka tarkoituksena on havaita voimajärjestelmän viat ja epänormaalit olosuhteet, jotta nämä saadaan selvitettyä ja lopetettua. Suojareleen tehtävänä on erottaa vikaantunut verkonosa järjestelmästä, jotta voimansiirto terveessä verkossa voi jatkua, ja vika ei aiheuta vaaraa tai tuhoa omaisuutta. Sen lisäksi, että suojareleitä käytetään suojaukseen, käytetään näitä myös sähkönlaadun hallintaan (jännitekuopat, käytönpalautukset). [58. s.335-336] Hyvin toteutetun relesuojausjärjestelmän tavoitteena on olla selektiivinen, nopea, luotettava, herkkä ja se toimii myös poikkeuksellisissa käyttötilanteissa. Suojarele voi olla tyypiltään ylivirtarele, distanssirele, nollavirta- ja maasulkurele, differentiaalirele, jälleenkytkentärele, taajuusrele, kiskosuojarele, tahdissaoloon tai tahdistukseen liittyvä rele, katkaisijavikarele, kaasurele (Buchholz-rele) tai jänniterele. [58. s.342-360]

RIG:n omistamassa tehdasverkossa suojareleitä on yhteensä 666 kpl, jonka muodostavat suurelta osin digitaaliset eli mikroprosessoripohjaiset suojareleet, joita on 633 kpl. Tämän jälkeen yksittäiset jäljelle jäävät suojareleet koostuvat kuumavalssaamalla käytetyistä elektronisista eli staattisista suojareleistä, joita on yhteensä 33 kpl. Vanhoja sähkömekaanisia releitä tehdasalueella ei ole käytössä laisinkaan. Vanhimmat tehdasalueen suojareleet ovat 80-luvun puolivälistä, mutta keskimääräisesti nämä ovat noin 15 vuotta vanhoja. Tarkasteltaessa valmistajakohtaisesti suojareleitä, jakautuvat näiden määrät seuraavasti: ABB 336 kpl, Siemens 243 kpl, Strömberg 33 kpl (staattisia), UTU 26 kpl, VAMP/Schneider Electric 23 kpl ja Alstom 5 kpl. RIG:llä suojareleillä suojataan kohteita yli- ja alijännitteiltä, nollajännitteiltä, ylivirroilta (oikosulku, maasulku, käytönaikeiset ylivirrat), taajuuden vaihteluilta ja kuormituksen epäbalanssilta. Suojareleitä käytetään myös laitesuojana muuntajille, kaapeleille ja moottoreille.

Varaosina kokonaisia suojareleitä löytyy Päämuuntoasema 3, Ferrochrome 3 uunikojeiston sähkötilasta sekä Päämuuntoasema 1 kellarissa sijaitsevasta varastosta. Pää-

muuntoasema 1 kellarista löytyy myös muita varaosia ja tarvikkeita suojuareleisiin liittyen kuten relekortteja, I/O-moduuleita, virtalähteitä, väyläsovitteita ja valokuitukaapeleita sekä asennukseen tarvittavia kehyksiä ja korokerenkaita. Em. kohteiden lisäksi Päämuuntoasema 1 löytyvät myös lähes kaikki pienemmät jännite- ja virtamuuntajat, joiden avulla suuret virrat ja jännitteet ovat mittauskelpoisia myös suojuareleille. Kuvan 22 vasemmalla puolella on esitetty eniten käytetyt reletyypit (ABB SPAJ 131 C 44 kpl, ABB SPAJ 141 C 104 kpl ja Siemens Siprotec 7SJ62 108 kpl). Kuvan oikealla laidalla puolestaan on yleisimpiä varastoituja tarvikkeita, joita ovat ylivirta-, maavika- ja differentiaalirelekortti, I/O-moduuli, väyläsovitte ja virtamoduuli. Varaosina pidettävien suojuareleiden ja tarvikkeiden yhteisarvo on noin 150 000 €, joka on laskettu uusien varaosien hinnoista. Todellisuudessa summa voi poiketa hiukan, koska osa varaosista on käytettyjä.



**Kuva 22.** *Suojuareleita ja näihin liittyviä tarvikkeita*

Koska suojuarelemalleja ja näiden tyyppejä on useita, ei jokaiseen kohteeseen ole olemassa vastaavaa varaosaa. Tällaisissa tapauksessa joudutaan käyttämään muun tyyppistä, mallista tai jopa toisen valmistajan valmistamaa laitetta. Tällöin on huomioitava, että suojuareleeseen on mahdollista ohjelmoida vastaavat suojausfunktiot mitä kohteeseen on alun perin suunniteltu. Poikettaessa erilaiseen suojuareleeseen on myös huomioitava suojuareleen fyysinen sopivuus kohteeseen. Usein suoja sopii suoraan vanhaan asennusaukkoon, mutta joskus voidaan joutua käyttämään kehyksiä tai jopa muuttamaan suojan sijaintia tämän sopimatta vanhaan keskuslohkoon. Muutettaessa suojuareleen mallia tai valmistajaa voidaan joutua muokkaamaan aiemmin olleita johdotuksia. Suojuareleissä mallin tehtävänä on kertoa millaisia suojausominaisuuksia suojaan voidaan ohjelmoida (ylivirta, vianpaikannus, moottorisuoja, ali- ja ylijännite ja vianpaikannus jne.), kun taas tyyppin tehtävänä on kertoa mitä suojausominaisuuksia suojaan on ohjelmoitu.

Se että korvaavan suojuareleen malli ja tyyppi ovat vanhan kanssa vastaavia, ei vielä takaa tämän täydellistä sopivuutta. Tämän vuoksi myös suojuareleeseen ohjelmoitu ohjelmistoversio, joka voi olla eri kahtena peräkkäisenä vuotena valmistetussa saman tyyppitarkenteen omaavassa releessä. Ohjelmistoversio ei estä parametrien syöttämistä rele-

seen, mutta esim. väylään liityntä ei useinkaan onnistu. Ohjelmistoversion muuttaminen tapahtuu valmistajan toimesta, jonka seurauksena rele voi olla pitkiäkin aikoja pois käytöstä. Aina ohjelmistoversion päivittäminen (tai vanhempaan siirtyminen) ei kuitenkaan onnistu edes valmistajan toimesta. Muutettaessa ohjelmistoversiota, on muistettava, että suojarеле ei ole tämän jälkeen todennäköisesti sopiva sille alun perin tarkoitettuun, mahdollisesti kriittisempään kohteeseen. Suojareleiden ja oheislaitteiden asennukset, käytettävien suojausfunktioiden (releeseen ohjelmoitujen) muuttaminen ja moduulien lisäykset suoritetaan oman henkilöstön toimesta. Mikäli releeseen joudutaan tekemään ohjelmistomuutos, joudutaan tämä lähettämään valmistajalle. Uudemmissa ja monipuolisimmista releistä on mahdollista saada vikakoodit ulos, jotka on mahdollista toimittaa valmistajalle vian selvitystä varten.

Selvitettäessä vararelettä kohteeseen on ensimmäiseksi järkevintä tarkastaa varalähdöissä olevien releiden tilanne, josta varaosa usein löytyykin. Löydettyä suojaa varalähdöstä, on suojan ohjelmistoversiokin todennäköisemmin sama. Varalähdöissä olevien suojarелеiden määrä tehdasalueella on 71 kpl. Varalähdöissä olevien suojarелеiden määrä perustuu tammikuun ensimmäisellä viikolla kunnossapitajärjestelmästä ladattuun tiedostoon. Liitteen 8 taulukkoon on kerätty tehdasalueella olevat mallit tyyppitarkenteen kanssa. Taulukkoon on myös liitetty jokaiseen käytössä olevaan suojarелеeseen sopivat moduulit (ylivirta, maasulku, nollajännite jne.). Tämä sen vuoksi, koska useat käytössä olevat suojarелеyksiköt koostuvat useista osista ja moduuleista, eikä pelkästään valmiista kokonaisista yksiköistä. Varaosien määrään on huomioitu myös käytetyt, osittain toimivat tai epävarman toiminnan omaavat kohteet. Taulukon vertailu on suoritettu tyyppitarkenteen perusteella. Joissakin tapauksissa hieman poikkeavan tyyppitarkenteen omaava rele voi olla tiettyjen toimenpiteiden jälkeen sopivaan kohteeseen. Nämä ovat kuitenkin hyvin tapauskohtaisia, ja vaativat syvällisempää perehtymistä, jonka vuoksi tätä kohtaa ei ole huomioitu vertailussa.

## 6.2.7 Kaukokäyttölaitteet (SCADA)

Kaukokäyttöjärjestelmä mahdollistaa sähkönsiirto- ja jakeluverkon keskitetyt valvonta- ja ohjaustoimenpiteet. Hyödyntämällä kaukokäyttöjärjestelmän monipuolisia etäältä suoritettavia ohjaus-, mittaus-, säätö-, asettelu- ja ilmoittamistoimenpiteitä, voidaan edistää verkon ja sen käytön teknistä laatutasoa, kuten toimitusvarmuutta ja häiriöiden kestoaikaa. Näiden lisäksi kaukokäyttöjärjestelmässä voi olla muitakin ominaisuuksia, jotka voivat liittyä verkostolaskentaan, tietojen keruuseen, tallennukseen tai raportointiin. Kaukokäytön soveltaminen verkkoyhtiöissä on yleistä, josta seuraa, että siirrettävä tieto on hyvin erilaista ja erisuuruista, sekä hierarkkinen jakautuminen tehtävien suhteen eri portaille (esim. keskusvalvomot, kotipääteyhteydet, asemat, voimalaitokset jne.) vaihtelevat suuresti. Kaukokäyttöjärjestelmästä käytetään usein kansainvälisesti tunnettua nimitystä, SCADA-järjestelmä. Tämä tulee englanninkielien sanoista Supervisory

Control And Data Acquisition, joka kuvaa järjestelmän pääominaisuuksia. Puhuttaessa SCADA-järjestelmä, on kyseessä usein kuitenkin kaukokäyttöjärjestelmään nähden hiukan laaja-alaisempi järjestelmä. [58. s.385-387; 392-393]

RIG:llä puhuttaessa kaukokäyttölaitteista tarkoitetaan Netcontrollin SCADA-laitteistoa. RIG:llä käytössä oleva kaukokäyttöjärjestelmä on Netcontrol 3000 järjestelmäsarjaa. Netcontrollin valmistama kaukokäyttöjärjestelmä koostuu useasta eri laitteesta, joiden avulla valvonta- ja ohjaustoimenpiteet suoritetaan. Näitä laitteita ovat mm. ala-asemat, liikennöintiyksiköt (RTU), modeemit, verkkokytkimet, ylijännitesuojista, kuitu- ja sarjaliikennemuuntimista, valvomopäätteistä, I/O-kortit ja tietokoneet (työasemat ja valvomotyöasemat). Kokonaisuudessaan käytössä olevaan kaukokäyttöjärjestelmään ohjelmistoinen, palvelimineen ja laitteistoinen on sitoutunut noin puolen miljoonan euron pääoma. Käyttöönotto RIG:llä olevalle kaukokäyttöjärjestelmälle on tapahtunut 2000-luvun taitteessa ja suurempia modernisointeja on tapahtunut vuosina 2006 ja 2014.

Vikatilanteen sattuessa kaukokäyttöjärjestelmässä, näihin käytettäviä varaosia on niukasti. Varaosien pieni perustuu kaukokäyttöjärjestelmän pieneen vikamäärään, varaosien saatavuuteen (yhden päivän toimitusaika) ja järjestelmän kriittisyyteen. Järjestelmän pieni kriittisyys on seurausta siitä, että sähkönkulku ei ole riippuvainen kaukokäyttöjärjestelmän tilasta. Yhtenä merkittävänä syynä varaosien pieneen määrään voidaan pitää myös vikataajuudesta johtuvaa pientä varaosien menekkiä. Tämän seurauksena useat laitteet voivat vanhentua käyttökelvottomiksi varastossa, koska samasta laitteesta olevia versioita syntyy kehityksen myötä koko ajan lisää. Vikatilanteen ratkaisu käynnistyy aluksi oman henkilöstön toimesta, mutta tarvittaessa tukea voidaan saada Netcontrollilta, josta RIG on ostanut tukipalvelun vikatilanteiden varalta. Varaosat joita RIG:llä on kaukokäyttölaitteistoon liittyen, ovat yksittäisiä ala-asemia, liikennöintiyksiköitä, väläsovitimia, signaalimuuntimia, modeemeja, teholähteitä, releitä, tietokoneiden prosessoreja ja muisteja.

## 6.2.8 IT-laitteet

Tietojärjestelmien päätarkoituksena on tietojenkäsittelyn avulla parantaa tehokkuutta, helpottaa toimintaa ja tehdä yleensäkin asioita mahdolliseksi, jotka ilman tietojärjestelmiä olisivat liki mahdottomia. Käsitteenä tietojärjestelmä ei tarkoita pelkästään tietokoneelle asennettavaa ohjelmaa tai ohjelmistoa, vaan tämä kokonaisuus kattaa verkot, laitteet, ohjelmat ja ihmiset. Tietojärjestelmän käyttäjäkunta voidaan jakaa kahteen ryhmään, sitä käyttävät henkilöt ja henkilöt jotka hallitsevat tätä ja vastaavat sen toimivuudesta. [63. s.3] Tässä kappaleessa käsiteltävät varaosat koskevat vain IT-verkkoa, eikä toiminnalliseen, OT-verkkoon pureuduta. Operatiivisen verkon varaosatilannetta kartoitettiin aiemmin kappaleessa 6.2.7.

RIG:n omistama IT-verkko koostuu lukuisista langattomista ja langallisista valokuitu- ja sarjaliikenneyhteyksistä, palomuuureista, muuntimista, reitittimistä, työasemista, ohjelmista ja ohjelmistoista sekä levyjärjestelmistä, tiedon tallennusjärjestelmistä ja verkkokytkimistä. Kokonaisuutena IT-verkko muodostaa määritetystä omaisuuden arvosta vain murto-osan, mutta järjestelmän toimivuuden kannalta on ydin roolissa. Tietoturva-politiikan vuoksi IT-järjestelmän laitteistojen tarkempi kuvaaminen ei ole mahdollista.

Varaosien tilanne IT-järjestelmän näkökulmasta on heikko, koska suoraanaisesti IT-järjestelmään kohdennettuja varaosia juurikaan ole. Ainoat IT-verkkoon sopivat varaosat ovat osittain toimivia tai käytettyjä ja näitä on vain yksittäisiä, hyvin satunnaisia kappaleita. Lyhyitä kytkentäkaapeleita tai näiden liittimiä ei lasketa varsinaisiksi IT-verkon varaosiksi. Ainoat IT-tekniikkaan liittyvät varaosat, jotka RIG:n omistuksesta tehdasalueelta löytyvät, ovat kohdennettu energianmittaukseen, SCADA-laitteistoon tai kompensointiin liittyväksi (operatiivisen verkon laitteistoa). Esimerkkejä tällaisista ovat yksittäisinä varaosina olevat teollisuusverkkokytkimet, modeemit, reitittimet, palomuurit, tietokoneiden osat (kovalevyt, prosessorit, näytöt, muistit jne), väyläsovittimet ja antennit. Näistä kuitenkin vain yksittäiset komponentit ovat suoraan sopivia IT-verkkoon. IT-verkkoon liittyvien varaosien yhteysarvo on yksittäisiä tuhansia euroja.

Syynä varaosien pieneen määrään voidaan nähdä järjestelmän varmuus (kahdennettu järjestelmä) ja näiden nopea saatavuus. Nopea saatavuus perustuu siihen, että valtaosa osista on saatavilla tehdaspaikkakunnalta, viereisiltä paikkakunnilta tai vähintään kotimaasta. Vikatilanteiden varalta RIG:llä on yksi verkkoa ylläpitävä ja kehittävä henkilö, jonka tehtävänä on myös vikatilanteiden ratkaisu. Laajojen verkostojen ja tukipalveluiden ansiosta on vikatilanteissa mahdollista myös käyttää ulkopuolista apua hyvinkin lyhyellä varoajalla. Vastaavasti kuten muidenkin järjestelmän komponenttien kohdalla, on myös IT-järjestelmässä mahdollista käyttää vikatilanteen sattuessa vähemmän kriittisen verkonosan komponentteja korvaavan osan saapumiseen saakka. Vikatilanteen sattuessa IT-laitteistossa, on suurin aiheutuva haitta kotipääteyhteyksien ja tehdasjärjestelmien (kunnossapitojärjestelmä, CISS Base jne.) yhteyksien katkeamisissa.

## 7. HAVAINNOT JA SUOSITUKSET JÄRJESTELMÄN KOHTEIDEN VARAOSATILANTEESTA

Seuraavien havaintojen ja suositusten voidaan katsoa olevan osa käyttövarmuuden suunnittelua ja kunnossapitoa ja näin myös osa riskienhallintaa. Havaintojen ja suositusten pohjana on toiminut riskin suuruuden arvio. Tämä on muodostunut tarkasteltaessa kriittisesti komponentin käyttövarmuutta eli luotettavuutta (vikaantumisen todennäköisyys), huollettavuutta (varaosien saatavuus ja hinta) ja huoltovarmuutta. Lisäksi oleellisena osana riskinarviota on ollut komponentin vikaantumisesta aiheutuva haitta. Pohjana tälle kappaleelle on toiminut aiemmin käsitelty tieto riskienhallinnasta ja komponenttien elinkaaresta sekä edellisessä kappaleessa syntynyt konkreettinen näkymä varaosatilanteesta. Näiden lisäksi tukena on myös toiminut RIG:n henkilökunnan kanssa käydyt useat keskustelut sekä tilastot vikatilanteista.

Vaikka varaosatilanne RIG:llä voidaan arvioida hyväksi, ei varaosia kuitenkaan ole joko kaiseen tehdasverkossa olevaan kohteeseen. Tämä ei kuitenkaan ole tarkoituksenmukaista, koska 100 % varaosavalmiuteen ei ole järkevää pyrkiä tuotannollistaloudellisten tekijöiden vuoksi. Tässä kappaleessa tarkoituksena on esittää oman pohdinnan tuloksena syntyneitä näkemyksiä RIG:n varaosatilanteesta ja antaa mahdollisia suosituksia tilanteen parantamiseksi. Tarkempiin komponenttikohtaisiin tekijöihin ja kustannuskysymyksiin kappaleessa ei pureuduta.

### 7.1 Häiriötapaukset tehdasverkossa

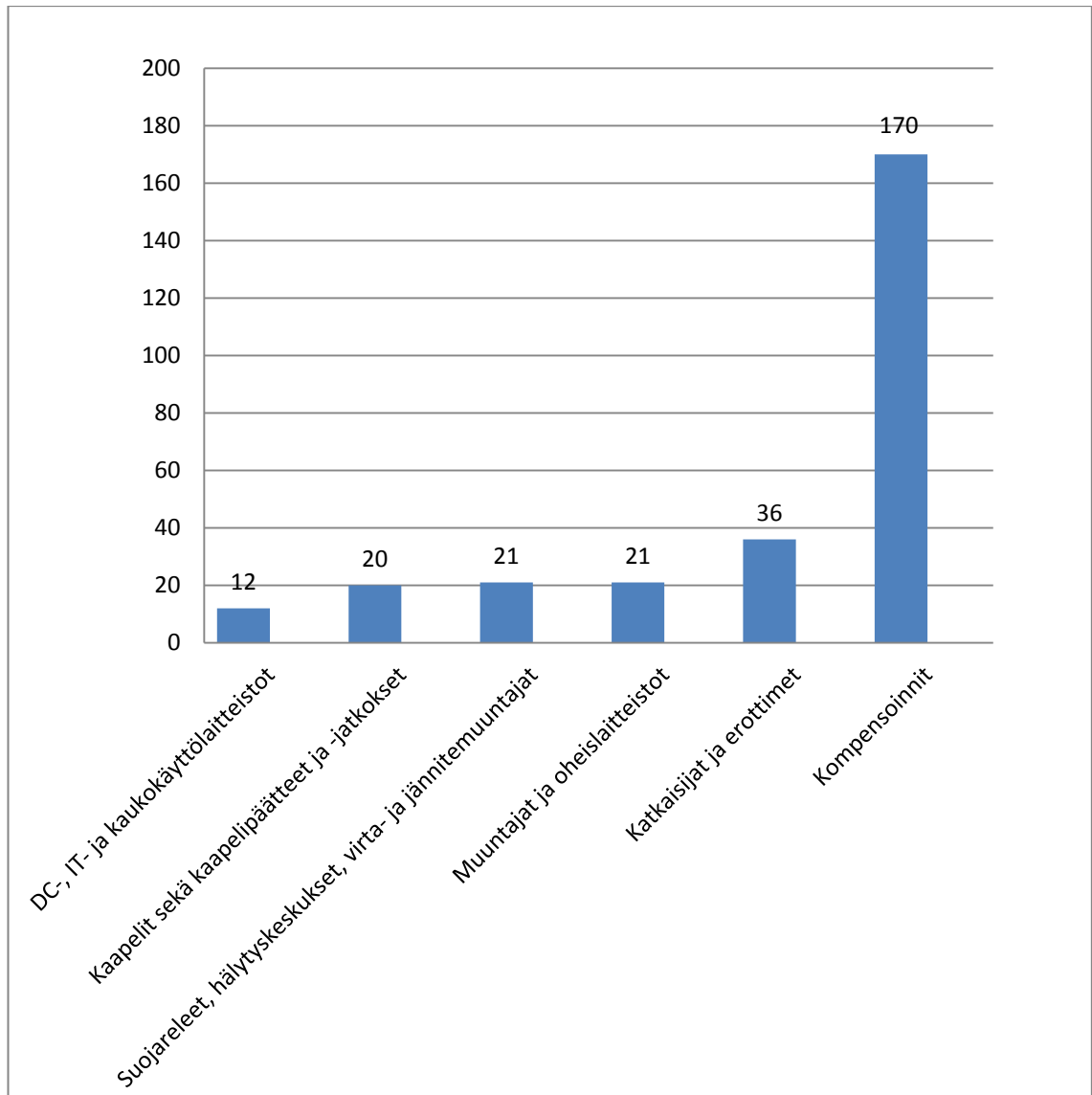
Tehtäessä investointeja varaosavarastoon, ei päätöksiä tehdä ainoastaan teoreettisten laskelmien perusteella. Usein apuna käytetäänkin henkilöstön kokemusta ja aiempaa tietoa vikojen esiintymisestä. Tämän kappaleen tarkoituksena on muodostaa yksi osalue pohjalle, jonka perusteella havainnot ja suositukset on määritetty. Kappaleessa esitetään vikatilastot luokkakohtaisella tasolla. Esitetyn tiedon on tarkoituksena olla tukena tehtäessä investointeja eri luokkien varaosavarastoihin.

Valtaosa tehdasalueella esiintyvistä häiriötilanteista on kuittausluontoisia vikoja eli vikoja, joista selvittää kuittausloimenpiteellä tai järjestelmän uudelleen käynnistyksellä. Kuvaan 23 on kerätty tehdasalueella esiintyneet vikatapaukset luokkakohtaisesti vuosien 2006 ja 2014 väliltä. Kuvassa esitetyt luvut eivät ole absoluuttisen tarkkoja, koska kaikkia vika- tai häiriötapauksia ei välttämättä ole kirjattu SCADA:an tai päiväkirjoihin. Kuva on kuitenkin suuntaa-antava. Kuvan lukuihin on huomioitu ainoastaan sellaiset



vikatapaukset, joihin on käytetty varaosia ja jotka ovat aiheuttaneet keskeytyksen. Kuva lukuihin ei ole huomioitu suunniteltujen pysäytyksien yhteydessä vaihdettuja komponentteja. Kuvan lukuihin on huomioitu myös ne yksittäiset korjaustoimenpiteet, jotka ovat tapahtuneet muun kuin RIG:n omistamassa järjestelmässä. Nämä ovat yksittäisiä kaapelivaurioita. Säätöviin kompensointeihin liittyen voidaan melko yleisesti todeta merkintöjen pohjalta, että vikamäärät ovat laskeneet selkeästi 2-3 ensimmäisen käyttöönottovuoden jälkeen. Nämä eivät näy kuvassa (käyttöönotto 90-luvun puolella), lukuun ottamatta JT-VKU 2 kompensointia. Säätövien kompensointien osalta vikamäärää kasvattaa suuresti JT-VKU 2 SVC-light kompensointiyksikkö, jonka luvusta noin 70 % ovat olleet tehopuolijohteista johtuvia häiriöitä. Nämä ongelmat kuitenkin loppuivat vuoden 2008 jälkeen, jolloin venttiilityyppejä oheislaitteistoinen muutettiin.

Kun huomioidaan myös kuittausluonteiset häiriöt, johtuu valokaariuunien kompensointiyksikköjen korkeammat häiriömäärät valssaamoiden häiriömääriin nähden vaativammasta kuormasta (repiviä ja virrat epäsymmetrisiä, jonka vuoksi kompensoinnilta vaaditaan enemmän)[69]. JT-VKU 1 varayksikön pieni määrä perustuu tämän käyttöön vain varayksikkönä. Usein häiriöt ovat seurausta oheislaitteiden vauriosta. Näistä esimerkiksi ovat katkaisijat ja erottimet, joilla ohjauslaitteistot ovat vika-alttiimpia, muuntajilla mittalaitteet ja anturit, suojareleillä kuidut ja mittamuuntimet. Kompensointiyksiköissä puolestaan viat liittyvät yleisimmin tehopuolijohteisiin, I/O-kortteihin, tietotekniikkaan, jäähdytysjärjestelmään tai kondensaattoreihin. Kiinteiden kompensointiyksikköjen vikatapaukset ovat harvinaisia johtuen yksinkertaisemmasta tekniikasta. Nämä liittyvät lähes aina kondensaattorivaurioihin. Muiden laitteistojen osalta vikamäärät ovat pysyneet ajan suhteen melko tasaisena ja näitä on ilmennyt kohtuullisia määriä.



**Kuva 23.** *Tehdasverkossa esiintyneet keskeytykset vuosien 2006 ja 2014 väliltä, jotka ovat vaatineet komponenttien vaihtotoimenpiteitä. [67]*

## 7.2 Kaapelit

Vaikka varaosina olevia kaapeleita on varastoituna niin metri- kuin kelamäärällisesti kohtuullisesti, ei näitä kuitenkaan ole jokaista kaapelityyppiä kohden. Varastoitujen kaapeleiden tarkoituksena ei ole riittää jokaiseen tehdasalueella olevaan yhteyteen (pissimmät yli 1 000 m). Sen sijaan niiden tarkoituksena on ratkaista syntyvä ongelmatilanne joko mahdollisen jatkokseen tarvittavan osuuden avulla tai lyhyen yhteyden uudelleen kaapeloinnilla. Siihen, minkä mittainen yhteys tarvitaan uudelleenkaapelointia varten, ei oteta kantaa. Tämän määrittäminen yleisesti on hankalaa suuresti muuttuvien ympäristötekijöiden (ahtaat ja korkeat paikat, kaapelin vetoon tarvittavat mahdolliset erikoislaitteistot, luokse pääsemättömyys prosessin toimiessa jne.) ja kaapelityypin

vuoksi (paperikaapelin jatko huomattavasti hitaampi tehdä kuin muovieristeisen). Tarkoituksena on kuitenkin tehdä tilanteen vaatimukset huomioon ottaen taloudellisempi vaihtoehto. Varaosina olevien kaapeleiden tarkoituksena on ensisijaisesti ratkaista vika-tilanne, mutta mahdollisuuksien mukaan käyttö projekteissa tulee kysymykseen.

Tehdasalueen noin 70 km mittainen tehdasverkko muodostuu suurimmaksi osaksi kapaleen 6.2.1, taulukon 4, rivien 1-5 kaapeleista, joiden yhteenlaskettu määrä on noin 65 km. Näistä kahdelle käytetyimmälle (yhteismäärä noin 50 km) löytyy varaosakaapelia kaapelikentältä. Kolmelle seuraavalle kaapelityypille ei löydy täysin vastaavaa tyyppiä. Yksi näistä kaapeleista on rivillä 4 oleva paperieristeinen kaapeli, jota ei enää nykypäivänä uudiskohteisiin asenneta. Tällaisen kaapelin kohdalla joudutaan käyttämään jotakin muuta kaapelityyppiä huomioiden kuitenkin poikkipinta-alan ja jännitekestoisuuden riittävyys. Valittaessa varastosta löytyvien kaapeleiden joukosta sopivaa tyyppiä, voitaisiin tähän käyttää esimerkiksi AHXAMK-W 3x300+70 mm<sup>2</sup>, jota tehdasalueelta löytyy lyhyen yhteyden verran (vähemmän kuin 30m). Riveillä 3 ja 5 oleviin kaapeleihin ei myöskään löydy suoraan sopivaa kaapelia varastosta. Rivin 3 kaapelin kohdalla voitaisiin käyttää vastaavaa kaapelia kuin mitä paperikaapelin korvaamisen käytettiin. Rivin 5 kaapelin tapauksessa lyhyempiä yhteyksiä (uudelleen kaapeloitavia) voitaisiin korvata mahdollisesti AHXAMK-W 3x185 mm<sup>2</sup> kaapelilla. Poikettaessa kaapelityypistä on huomioitava, että sekajatkon tekeminen ei aina ole mahdollista ja yleensä tämä vie enemmän aikaa.

Tehdasalueen varakaapeleiden suhteen tilannetta voisi parantaa hankkimalla viidelle käytetyimmälle kaapelityypille soveltuvaa kaapelityypin hankinta. Kaapelityyppiä hankittaessa olisi järkevää hankkia ensisijaisesti samaa tyyppiä olevaa kaapelia. Mikäli vastaavaa kaapelityyppiä ei ole saatavilla, hankittaisiin korvaavaksi kaapelityypiksi, kaapelia, jota voitaisiin hyödyntää mahdollisesti muissa kaapelityypeissä. Tässä kohtaa on syytä huomioida hinta, mutta hankittaessa pieniä kaapelimääriä, ei hintaero kuitenkaan mene kohtuuttomuuksiin. Kaapelimäärät jotka varastoon hankittaisiin, olisivat pituudeltaan sadan metrin luokkaa. Etenkin lyhyempien yhteyksien (yleensä pienempi poikkipinta) kohdalla tämä on perusteltua siksi, että kaapelit kulkevat usein hyllyllä, jossa kaapeleita on useita vierekkäin. Tällöin vaurio ei välttämättä rajoitu pelkästään yhteen kaapeliyhteyteen, jolloin voi olla nopeampaa kaapeloida muutamia uusia yhteyksiä, kuin tehdä jatkoksia. Tämän seurauksena kaapelitarve kasvaa. Paksummilla kaapeleilla jatkoksen tekeminen voi olla nopeampaa. Huomioiden varastossa olevat kaapelit ja hankittavan kaapelin sopivuus useampaan kohteeseen, syntyisi kustannuksia noin 10 000 €. Kaapeleiden kohdalla tilanne saatavuuden suhteen on hyvä, sillä nämä tulevat kotimaasta.

Huomautuksena kaapeleiden pidemmän eliniän kannalta olisi kaapeleiden säilyttäminen tasaisessa 0- 20 °C lämpötilassa, auringonvalolta ja pölyltä suojattuna. Nämä ovat tekijöitä, jotka lyhentävät kaapelin käyttöikää, vaikka kaapeli ei olisi käytössä. Kaapeleista olisi myös hyvä suojata päät, jotta kosteus ei pääsisi kaapelin sisään. Tärkeää on myös

huomioida viallisten kaapelikelojen kierrätys, kaapeleiden talteenotto sekä sellaisten kaapelityyppien kierrätys, jotka eivät sovellu enää tehdasalueen järjestelmään.

### 7.3 Kaapelipäätteet ja -jatkokset

Kaapelipäätteiden ja -jatkoksien suhteen tilanne on hiukan parempi kuin kaapeleiden kohdalla. Päätteitä ja jatkoksia on olemassa liki kaikkiin käyttötarkoituksiin viidelle käytetyimmälle kaapelityypille (noin 65 km). Poikkeuksena tähän on paperieristeiselle kaapelille sopivien päätteiden määrä. Tässä tapauksessa päätteitä on taulukon 6 rivin 4 mukaan vain yksi kappale ulkokäyttöön. Näitä voitaisiin hankkia sekä sisä- että ulkokäyttöön sopivina muutamia pakkauksia.

Kahden käytetyimmän kaapelityypin (AHXAMK/AHXAMK-W 3x185/35 mm<sup>2</sup> ja AHXCMK/AHXCMK-W 3x1x800 mm<sup>2</sup>) kohdalla myös jatkospakettien määrää voitaisiin kasvattaa, sillä useilla hyllyillä kulkee useita yhteyksiä, joissa käytössä on edellä mainittuja lajikkeita. Esimerkkinä voidaan ottaa pääkytkinasema 1:ltä lähtevät AHXCMK/AHXCMK-W 3x1x800 mm<sup>2</sup> kaapelit, jotka kulkevat aseman katon kautta putkisillalle ja tästä tehdasalueen eri kohteisiin. Tässä tapauksessa yhteyksien määrä on 36 kpl, jonka seurauksena tarvittaisiin jopa 72 kpl jatkoksia. Varastossa kuitenkin on tähän kaapelilajikkeeseen soveltuvia jatkoksia vain 27 kpl. Tilanne, jossa jatkoksia tarvittaisiin jopa 72 kpl määrä, voi syntyä esimerkiksi pääkytkinasemalla syntyvän tulipalon seurauksena. Kyseisen kaapelityyppiin soveltuvan jatkoksen hinta on kuitenkin noin 800 €, jonka vuoksi näiden hankinta lukuisina määrinä ei ole järkevää. Tämän kaapelityypin kautta sähköenergian siirto tapahtuu yleensä suuremmille ja etäämmällä oleville kojeistoille, jonka vuoksi nämä ovat melko kriittisessä asemassa. Vastaava esimerkki voidaan ottaa myös käytetyimmän kaapelityypin (AHXAMK/AHXAMK-W 3x185/35 mm<sup>2</sup>) kohdalla, jossa jatkoksia voidaan joutua tekemään pahimman skenaarion sattuessa jopa 18 kpl. Varastossa on kuitenkin ainoastaan 7 jatkospakettia. Tällainen yhteys löytyy valokaariuuni 1 suodatinlaitoksen sähkötilan ja terässulatto 1 välillä olevalta putkisillalta. Tämä tilanne voi tulla mahdolliseksi raskaan ajoneuvon törmättyä pilariin, jonka seurauksena putkisilta kaatuu ja kaapelit vaurioituvat. Edellä mainitut tapaukset on laskettu siten, että jatkos joudutaan tekemään kahtena, koska väliin joudutaan laittamaan kaapelia. Laskettuihin määriin on myös oletettu, että varastossa olevat kaapelipäätteet ja -jatkokset eivät sisällä käyttökelvottomia komponentteja. Myös vähemmän käytetyille kaapeleille (AHXCMK/AHXCMK-W 3x1x500 mm<sup>2</sup> ja HMCCK 3x1x120 ja 240 mm<sup>2</sup>) voitaisiin hankkia muutamia jatkoksia, koska näitä ei ole olemassa.

Huomautuksena kaapelipäätteisiin ja -jatkoksiin liittyen olisi pakettien päivittäminen säännöllisin väliajoin, koska useassa pakkauksessa on vanhenevia osia. Tiedustelun seurauksena useimpiin paketteihin on saatavilla vanhenevat osat tukkuliikkeen kautta. Pakettien päivittäminen uusien pakettien hankintaan nähden on huomattavasti järke-

vämpi vaihtoehto, johtuen pääte- ja jatkospakettien kohtuullisen korkeasta hinnasta (jopa 2000 €). Päivittämisestä syntyy toki työmäärää, mutta tämä ei ole juurikaan suurempi kuin mitä uusien pakettien vaihdosta syntyisi. Yleensä vanhenevat osat ovat kentänohjausmassoja ja -levyjä, teippejä, valumuoveja ja kylmäkutisteita. Pääte- ja jatkospaketin päivittämisestä voitaisiin tehdä myös ennakkohuoltotyö kunnossapitojärjestelmään, koska tämä voi helposti unohtua harvan päivitystaaajuuden vuoksi.

Toisena huomautuksena olisi listauksen luominen siitä, mille kaapelille pääte- tai jatkospaketti on tarkoitettu sekä tarvitaanko päätteen tai jatkoksen tekemiseen lisätarvikepakettia tai vastaavaa. Listaukseen olisi hyvä merkitä myös mahdollisten teippien, kaapeliholkkien, kaapelikenkien ja muiden pientarvikkeiden tarve sekä tarvitaanko mahdollisesti erikoistyökaluja. Edellä mainittujen tarvikkeiden sijaintia voitaisiin myös muuttaa siten, että nämä olisivat päätteen ja jatkoksien kanssa samassa tilassa (tai päinvastoin).

## 7.4 Muuntajat

Muuntajat ovat jakeluverkkojärjestelmän kalleimpia ja kriittisimpiä kohteita. Muuntajia RIG:n omistuksessa on kaikkiaan 43 eri tyyppiä, kun huomioidaan jännitetaso, teho, kytkentäryhmä ja eristys. Varamuuntajia edellä olevien ehtojen mukaisesti puolestaan löytyy 18 tyyppille. Valtaosa muuntajista, joille ei löydy varamuuntajaa, ovat valssikäyttömuuntajia (14 kpl), joiden jännitetasot ovat harvinaisia (20/1 kV, 20/0.625 kV, 20/0.525 kV jne) Valtaosa näistä sijaitsevat kylmävalssaamolla, jossa tilanne ei ole äärettömän kriittinen sen vuoksi, että samaa työvaihetta suorittavia linjoja on useampi kuin yksi (käsiteltäviin linjakohtaisiin laatuihin ei oteta kantaa). Esimerkkejä tällaisista linjoista ovat Sendzimir-valssaimet (3 kpl), viimeistelyvalssaimet (2 kpl) ja hehkutus- ja peittauslinja (4 kpl).

Kylmävalssaamoa huomattavasti kriittisemmässä tilanteessa on kuumavalssaamo, jonka kautta kaikki kylmävalssattu teräs kulkee läpi. Kuumavalssaamolla oleviin tandemvalssaimiin ja näihin liittyviin magnetointeihin ei ole olemassa varamuuntajaa. Investointina tämä on suuri, mutta pitkien toimitusaikojen ja kohteen kriittisyyden vuoksi varamuuntajan hankinta olisi aiheellista.

Pää- ja uunimuuntajien (valokaari) kohdalla tilanne on hyvä, koska jokaiseen kohteeseen löytyy varamuuntaja tai kohteeseen on järjestettävissä varayhteys. Kiskostoja yhdistäessä on huomioitava tämän perässä oleva kuormitus, koska esimerkiksi valokaariuuni 1 kuorma on suuresti vaihteleva ja näin jännitteen laatu vaihtelee suuresti. Tällöin esimerkiksi kytkettäessä muita laitteita samalle kiskolle, näiden toiminta ei ole täysin varmaa.

Yhtenä huomautuksena olisi terässlatoilla oleviin senkkauuneihin (SU) liittyvät muuntajat. Näihin ei ole olemassa varamuuntajia, lukuun ottamatta vanhaa, liki 20 vuotta

käytöstä pois ollutta muuntajaa, jonka toiminta on epävarmaa (ei huomioida tarkastelussa, sopivuus senkkauuni 1). Yhtenä ongelmana tässä tapauksessa on, että varamuuntajat eivät olisi sopivia molempiin kohteisiin, koska SU 1 on kiinni 2-vaiheisessa järjestelmässä, kun taas SU 2 on kiinni 3-vaiheisessa järjestelmässä. Hankittaessa varamuuntajaa senkkauuneille varamuuntajaa olisi suosituksenani muuntajan hankinta senkkauuni 2:lle. Tämä sen vuoksi, että 2/3 tuotannosta kulkee tämän kautta, SU 1:lle on mahdollisesti muuntaja ja senkkauuni 2:n käyttö on monipuolisempaa laatujen suhteen (soveltuu paremmin ferriittisille teräslaaduille). Siitä huolimatta, että senkkauuneja on kaksi kappaletta, voidaan näitä pitää kriittisinä, koska näiden merkitys tuotantoon on niin suuri. [64]

Toisena huomautuksena on jatkuvavalukoneella 1 (JVK1) oleva sähkömagneettinen sekoitin, johon ei myöskään ole varamuuntajaa. Mikäli sähkömagneettisen sekoittimen muuntaja vaurioituu, ei ferriittisiä teräslaatuja kyetä enää tuottamaan. Kyseisen muuntajan hinta ei myöskään kokonaisuuden kannalta ole suuri, joten tämä voisi olla yhtenä tulevaisuuden investointina. [64]

Vähemmän kriittisiin kohteisiin kuten parkkialueet tai linjat joihin on järjestettävissä varamuuntaja toisesta kohteesta (esimerkiksi paineilmalaitos 2 ja 3 sekä märkäjauhatus keskenään) ei ole järkevää hankkia varamuuntajia. Havaintoja ja suosituksia mietittäessä on tieto pohjautunut identtisiin vertailuihin, jonka vuoksi todellisuuden tilanne voi olla parempi. Poikettaessa alkuperäisen muuntajan teknisistä ominaisuuksista tulee verkkolaskentaan perehtyä tarkemmin.

## 7.5 Katkaisijat ja erottimet

Tehdasverkon 72 erilaisen katkaisijakokonaisuuden muodostaviin kohteisiin löytyy suoraan soveltuva katkaisijakokonaisuus (38 kpl). Havaintojen ja suosituksien muodostaminen katkaisijoiden kohdalla on hiukan haastavampaa, koska jokaiseen kohteeseen, johon ei ole varakatkaisijakokonaisuutta, ei ole järkevää hankkia katkaisijaa kaikkine (tai edes osittaisine) tarvikkeineen. Tämä siksi koska usein katkaisijakokonaisuuden vioittunut osa voi löytyä jostakin muusta irrallaan tai varalähdössä olevasta katkaisijasta. Ongelman vertailun suorittamiseen tällaisessa tapauksessa aiheuttaa mahdollisesti poikkeavat rakenteet muun muassa kojeistojen ja kiskostojen suhteen, jonka vuoksi täyden varmuuden sopivuudelle antaa vain fyysinen kokeilu. Vaikka tyyppimerkintä kojeistoissa tai katkaisijoissa on sama, ei tämä tarkoita täyden varmuuden sopivuutta.

Jokaista kohdetta, johon ei ole olemassa kokonaisuutta, ei ole järkevää lähteä tarkastelemaan, koska usein nämä eivät ole äärettömän kriittisiä tehtaan prosessin kannalta. Usein näihin on myös mahdollista järjestää varakatkaisija modifioimalla eri katkaisijakokonaisuuksia. Yhtenä huomiona, johon ei ole mahdollista järjestää varakatkaisijako-

konaisuutta, voisi kuitenkin esittää kuumavalssaamon kompensoinnissa ja valokaariuuni 2 kompensoinnissa olevat katkaisijat (ABB LTB -ulkokatkaisija), joihin voisi olla syytä harkita varaosakatkaisijan hankintaa. Näiden merkitys tuotantoon on suuri ja hinta koh- tuullinen.

Kaikkein kriittisimpiä katkaisijakokonaisuuksia tehdasalueella ovat GIS-kojeistot (3 kpl), joihin ei ole olemassa varaosia. Käytännössä nämä ovat oikein huollettuina ääret- tömän pitkäikäisiä. Vikatilanteen sattuessa ei näihin kuitenkaan ole omatoimisesti teh- tävissä mitään. Tarkempia katkaisijakokonaisuuksien tietoja tarkasteltaessa, voidaan huomata, että kun jätetään kojeiston tarkastelu pois (huomioidaan vain pilari), putoaa käytössä olevien katkaisijoiden tyyppimäärät merkittävästi, jolloin tilanne paranee mer- kittävästi. Käytännössä kuitenkin pilareihin liittyvät viat ovat äärettömän harvinaisia (viimeisen 30 vuoden aikana 5 kpl liittyen tyhjökatkaisijoihin [65]), jonka vuoksi vara- pilareiden hankinta ei ole perusteltua.

Katkaisijoihin liittyvät viat liittyvät tyypillisesti ohjainlaitteistoon, johon varaosia on hyvin satunnaisesti olemassa (näitä ei ole inventoitu tähän työhön liittyen). Käytetyim- piin katkaisijamalleihin kuten ABB HKK -katkaisijoihin on varauduttu muun muassa ohjainmoottoreilla, ohjauskeloilla ja muutamilla vaurioherkimmillä hammaspyörillä. Katkaisijoihin liittyvien vikojen määrään on kyetty vaikuttamaan myös asianmukaisella kunnonvalvonnalla, jonka avulla tilanteisiin on voitu varautua paremmin. Lisäksi voitai- siin optimoida varaosatilannetta.

Katkaisijoiden kohdalla havainnot ja suositukset pohjautuvat identtisesti suoritettuihin vertailuihin, joissa on huomioitu katkaisijatyypin, jännite- ja virtataso sekä kojeisto. Todellisuudessa tilanne voi olla parempi, varsinkin kun otetaan huomioon mahdolli- suuksien rajoissa tehtävät modifioinnit.

Huomautuksena katkaisijoihin liittyen olisi varaosien lajittelu varastossa katkaisijatyy- pin mukaan. Katkaisijakohtainen (ohjainkoneistokohtainen) varaosatarkastelu voisi olla myös hyödyllinen. Tässä varastoon voitaisiin hankkia historiatietojen perusteella käyte- tyimpiä varaosia. Varaosien tarkempi lajittelu, hankinta ja listojen päivittäminen vaatii tarkempaa tuntemusta katkaisijoista ja näiden vikahistorioista.

Erottimien kohdalla varaerottimia ei varsinaisesti ole ja varaosiakin hyvin satunnaisesti. Syynä tähän, että varaerottimia ei ole, on näiden suunnattoman varma toiminta (viimei- sen 30 vuoden aikana 1 vaurio). Lisäksi näistä noin puolet on GIS-kojeistoissa olevia erottimia, joissa tilanne varaosien suhteen on vastaava kuin GIS-kojeistoissa olevilla katkaisijoilla. Jäljelle jäävistä erottimista lähes kaikki sijaitsevat kompensoinneissa tai uunikojeistojen yhteydessä. Näiden kohdalla varaerottimien investointi ei ole järkevää, koska näiden vikataajuus on pieni ja tyyppejä on useita. Joissakin tapauksissa vioittu- neen erottimen voisi korvata yliheitolla (kiskosto tai muu vastaava), mutta tämä tulisi käytännössä varmistaa.

Erottimiin tai näiden ohjainlaitteistoihin liittyvä varaosia on hyvin satunnaisesti ja osa näistä on käytettyjä. Tarkempaa perehtymistä näihin ei suoritettu työn laajenemisen vuoksi. Huomautuksena kuitenkin erottimien varaosiin voitaisiin esittää sama kohta kuin katkaisijoiden osiin liittyen: varaosat olisi hyvä lajitella ja listata selkeästi erotinlaitteistokohtaisesti. Erottimien ohjainlaitteistoihin liittyvät viat ovat yksittäisiä kymmentä vuotta kohden, joten suurempien varaosamäärien varastointi ei ole järkevää.

## 7.6 Kompensaattorit

Tehopuolijohteiden kohdalla tilanne jokaisessa käytössä olevaa kompensointiyksikköä kohden on hyvä. Tehopuolijohteissa heikoin tilanne esiintyy valokaariuuni 2:n kompensointia suorittavassa SVC-light yksikössä, jossa diodien määrä on 7 kpl (käytössä 64 kpl). Diodien kohdalla määrää ei kuitenkaan ole tarpeen kasvattaa, koska nämä eivät ole vikaherkkyiden osalta verrattavissa transistoreihin. [66] Katsottaessa pelkkää tehopuolijohteiden määrää, on Alstomin kompensoinnissa näiden määrä pienin (2 kpl). Tehopuolijohteiden hankinta ei kuitenkaan tähän kompensointiyksikköön ole tarpeellista, koska yksikön käyttö on hyvin satunnaista ja pilarit, jotka koostuvat tyristoreista, on mitoitettu siten, että järjestelmä on käyttökelpoinen vaikka joukossa on yksittäinen viallinen tyristori. Alstomin kompensoinnissa tehopuolijohteisiin liittyvät viat ovat myös olleet harvinaisempia muihin yksikköihin verrattuna (yhtenä syynä käyttämättömyys). Kaikkien kompensointiyksikköjen kesken tehopuolijohteisiin liittyvät viat ovat nykyisin harvinaisempia, mutta aiemmin, etenkin käyttöönottojen läheisyydessä, näihin liittyviä häiriötapauksia on ollut enemmän.

I/O-korttien kohdalla tilanne on myös hyvä. Suurin osa korttityypeistä, joihin ei löydy varakorttia identtisesti vastaavalla tyyppitunnuksella sijaitsee Alstomin kompensoinnissa. Näihin ei kuitenkaan tarkemmin pureuduta, sillä tämän tärkeys muihin yksikköihin nähden on pieni. Lisäksi vikatilanteen sattuessa Alstomin kompensoinnissa, joudutaan turvautumaan ulkopuoliseen apuun. I/O-kortteihin liittyen kehityksen kohteena voisi olla Nokian ja ABB:n kompensointiin liittyvien korttien hankinta, joihin ei ole olemassa varakorttia (yhteensä 13 kpl, josta ABB:n valmistamia 1 kpl.). Näihin liittyen myös ohjausjärjestelmien toimittajilta voisi tiedustella listausta, mitkä kortit ovat yhteensopivia, mikä on näiden keskeinen ero, onko ohjelmat kortteihin päivitettävissä jne. (muutamissa korteissa poikkeama hyvin pieni: 3KF05, 3KF05A, 3KF05D). Sopimattomien korttien kohdalla hävitys olisi järkevä vaihtoehto.

Kondensaattoreiden kohdalla tilanne on kohtuullisen hyvä. Käytössä olevaa 25 kondensaattorityyppiä kohden 17 löytyy varaosana oleva kondensaattori. Jäljelle jäävästä kahdeksasta vain kaksi liittyy säätyviin, joista toinen on häiriönpoistoon liittyvä. Huomautuksena tähän osa-alueeseen olisi kondensaattorien hankinta kylmävalssaamon säätyvään yksikköön liittyen. Kondensaattoreita olisi vielä syytä hankkia myös kuuma- ja



kylmävalssaamoiden kiinteisiin yksiköihin liittyen, joiden tilanne on heikko (esim. KYVA:lla 11 ja 13 yliaallon suodatuksessa käytössä 128 kondensaattori, varastossa 0). Kondensaattorien määrä etenkin säätyvien yksiköiden kohdalla on syytä tarkastaa, koska usein kondensaattorivauriot ovat suurempia kuin 1 kpl. Varalla olevien kondensaattorien määrä voisi olla esim. viisi kappaletta tyyppiä kohden. Suurien kondensaattorimäärien varastointi ei ole järkevää, koska suodatinparisto on mahdollista irrottaa verkosta pienen kuormitusrajoituksen ehdoin. Viallisten tai sopimattomien kondensaattorien kohdalla tulee tapauksesta riippuen kyseeseen korjaus tai kierrätys..

Ainoa varaosaryhmä, johon RIG:ltä ei löydy varaosia, ovat kelat. Näiden kohdalla varaosien hankinta ei ole järkevää pienen vikataajuuden ja suuren hinnan vuoksi. Lisäksi vikatapauksen liittyessä näihin voidaan noin 70 % tapauksista käyttöä jatkaa hieman poikkeavien kuormitusehdoin, irrottamalla vikaantunut suodatinparisto. Vikatapauksen liittyessä reaktoriin tai virranvaimennuskuristimeen on kuormituksia rajoitettava merkittävämmiin. Huomauksena näihin liittyen voisi olla virranvaimennuskuristimien hankinta varaosaksi, koska kuristimen vaurioituessa on ongelma vastaava kuin reaktorin vauriossa, mutta investointiin sitoutunut pääoma noin 15 %:a reaktorin hinnasta. Ainoana ongelmana tässä tilanteessa on kuristimien epäsojivuus keskenään, jonka vuoksi hankintamäärä kasvaa. Kuristimien määrä virtaohjatuissa kompensointiyksiköissä on yhteensä 2 x 3 kpl. Hankkimalla molemmille kompensointiyksiköille yhden kuristimet, olisi investoinnin suuruus noin 30 000 €.

Vastuksien suhteen varaosien hankinta olisi myös perusteltua, koska näiden tilanne on heikko ja hinta todella pieni kokonaisuuteen nähden (vain JT-VKU2). Vastuksia löytyy vain valokaariuuni 2 kompensointiin liittyen. Keskusyksikköjen eli tietokoneiden osalta tilanne on hyvä (lukuun ottamatta Alstomin yksikköä), joten tähän ei ole syytä puuttua.

Koska pienempiä varaosia säilytetään jokaisen kompensointiyksikön läheisyydessä olevissa varaosakaapeissa, olisi näiden kohdalla yhtenä pienenä ehdotuksena uusien kaappien hankinta ja hyllyjen merkintä, mitä kyseinen hylly sisältää tai vaihtoehtoisesti viitatusnumero listalle, josta selviää mitä varaosaryhmiä kyseinen hylly sisältää. Pienempien varaosien määrä näissä varaosakaapeissa on useita kymmeniä. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että varaosien tilanne kompensointiyksiköihin liittyen on hyvä.

## 7.7 Suojareleet

Suojareletyyppejä käytössä on 59 kpl. Varalähdöissä olevia suojareleitä löytyy 14 kpl, joista 13 kpl on suoraan sopivia käytössä oleviin nähden. Varaosia puolestaan löytyy 26 kpl. Varaosista kokonaisia suojareleitä löytyy 19 kpl, joista neljän toiminta on epävarmaa tai osittaista. Muut suojareleisiin liittyvät varaosat ovat lisämoduuleita, I/O-yksiköitä tai valokaarisuojaukseen liittyviä osia.

Varaosien tilanne suojaareleisiin liittyen on hyvin satunnainen. Varaosatilanteen tarkastelua vaikeuttaa myös merkittävästi olemassa olevan tiedon puute moduulityyppisistä kokonaisuuksista muodostuvien suojaareleiden, esimerkiksi ABB; SPAA; SPAC; SPAD ja SPAJ, kohdalla. Jotta vertailua varaosien tilanteesta voitaisiin suorittaa, täytyisi tietää suojaareleessä käytössä olevat suojausfunktiot, kuten nollajännitemoduuli, ylivirtamoduuli, maavikamoduuli. Yleisesti voidaan kuitenkin todeta, että moduulityyppiset suoja-releet alkavat olla elinkaarensa lopussa, jonka vuoksi näihin ei ole järkevää hankkia varaosia. Sääntönä kunnossapidossa voidaan pitää elektroniikka sisältävien laitteiden kohdalla noin 30 vuoden elinkaarta (moduulityyppiset releet 15–25 vuotta vanhoja). Lähitulevaisuudessa voi siis olla odotettavissa, että laitteiston vikaantumisia on edessä. Vanhojen laitteistojen kohdalla on myös syytä huomata, että varaosien hinnat alkavat nousta suuresti näiden vanhetessa. Vanhenevien, investointikartoitukseen mukaan otettavia kohteita voisivat olla lisäksi ABB:n TVOC- ja UTU ARC10+ CR3-laitteistot sekä kuumavalssaamalla olevat staattiset suoja-releet (31 kpl).

Kokonaisuuden kannalta suoja-rele ei ole verkoston kriittisimpiä osia. Perusteluna tälle se, että suoja-releen vikaantuessa on mahdollista käyttää lähestulkoon mitä suoja-relettä tahansa, joka täyttää vikaantuneen releen suojausfunktiot (harkitusti myös näistä voidaan poiketa). Tämä toki aiheuttaa lisää työmäärää johdotuksien ja sovituksien osalta, mutta on kuitenkin järkevämpää kuin suurien varaosamäärien hankinta. Esimerkkinä tällaiseen tilanteeseen voidaan käyttää RIG:llä käytössä olevaa menetelmää: muutamassa varaosana olevassa suoja-releessä on ”banaanit” kytkettynä valmiiksi, jotka voidaan vikatilanteen sattuessa kytkeä nopeasti vikaantuneen releen liittimiin, mikäli vastaavaa tyyppiä ei ole olemassa.

Hankintaehdotukseksi suoja-releisiin liittyen olisi kalliimpia ja kriittisimpiä muuntajia suojaavia differentiaalireleitä. Kaikkiin näistä ei ole olemassa varaosarelettä, mutta hätätapauksessa muuntajan operointi onnistuu ilman suoja-relettä. Tämä edellyttää kuitenkin harkittua riskinottoa. Investointina nämä varaosareleet ovat kohtuullisen pieniä, mutta käytännössä tällä toimenpiteellä voidaan säästää suuria rahasummia. Toisena huomautuksena olisi epävarmojen tai osittain toimivien suoja-releiden tai näihin liittyen osien romutus ja toimivien osien talteenotto Käytännön huomautuksena kaikkia kappaleita ajatellen olisi kohteen kenttätietojen lisäys sellaisiin kohteisiin, joissa näitä ei ole. Tämä helpottaa työtä varsinkin silloin, kun käsitellään suuria määriä tietoa.

## 7.8 Kaukokäyttölaitteet (SCADA)

Kaukokäyttölaitteiden kohdalla varaosatilanne on heikko. Myös tieto olemassa olevista laitteista on vähäistä ja tätäkään tietoa ei löydy ylöskirjattuna. Toki kaukokäyttöjärjestelmän kriittisyys ei ole samalla tasolla kuin esimerkiksi muuntajilla tai kompensattoreilla. Näihin liittyvä vikatilanne ei katkaise sähköenergian kulkua ja yleensä vikatilanteen

ne on ratkaistavissa varaosien suhteen nopeasti, joko uudella varaosalla (toimitus koti-  
maasta) tai väliaikaisella ratkaisulla.

Huomautuksena kaukokäyttöjärjestelmiin liittyen olisi tiedon päivitys olemassa olevasta järjestelmästä sekä varaosien hankinta tämän perusteella. Varaosien hankinnassa voitaisiin järjestelmätoimittajalta pyytää suositus mitä varaosia olisi järkevää varastoida. Laitteistojen tietojen päivityksessä on syytä huomioida myös tarkat versionumerot ja selvittää toimittajalta mahdolliset yhteensopivuus- ja eroavuustiedot. Kuten muutamalla muullakin varaosaluokalla, myös kaukokäyttölaitteisiin liittyvien varaosien kohdalla olisi syytä selkeyttää varastointia löydettävyyden ja selkeydyn vuoksi. Myös sopimattomien ja epämääräisen toiminnan omaavat laitteet olisi syytä kierrättää.

## 7.9 IT-laitteet

IT-laitteiden kohdalla tilanne on hiukan vastaava kuin kaukokäyttölaitteistossa lukuun ottamatta, että IT-järjestelmästä oleva tieto on ajantasaisempaa ja paremmin hallittuna. Tämän seurauksena esimerkiksi vikatilanteen ratkaisu ja varaosatyyppin määrittäminen on nopeampaa. Puhuttaessa IT-laitteiden kriittisyydestä, voidaan tätä verrata pitkälti kaukokäyttöjärjestelmän kriittisyyteen kaukokäyttöjärjestelmän ollessa kuitenkin hiukan kriittisempi (tämän kappaleen alla tarkastelussa vain IT-verkko). IT-laitteiston merkitystä ei kuitenkaan sovi väheksyä, sillä tämän merkitys sitoutuneeseen pääomaan nähden on suuri, johtuen nykyaikana kasvaneesta tietoturvariskistä.

Kehityksen kohteena IT-järjestelmään liittyen olisi varaosatilanteen parantaminen, joka on lähes olematon järjestelmään nähden. IT-järjestelmään varaosa voisi löytyä jokaista laitetyyppiä kohden. Tässä tapauksessa kyseessä olisi muutamien tuhansien eurojen investointi.

## 8. YHTEENVETO

Kokonaisuudessaan RIG:llä oleva varaosatilanne on kohtuullisen hyvä. Siitä huolimatta että varaosatilanne on kohtuullisen hyvä, on muutamissa varaosaluokissa hiukan parannettavaa. Ensisijaisia kohteita ovat kaapelipääte- ja jatkospakettien päivittäminen, tiettyjen suojarleiden uusinta, katkaisija- ja erotinlaitteistojen pientarvikkeiden selvittäminen ja hankinta, yksittäisiin kompensointeihin liittyvät osat, IT- ja kaukokäyttölaitteisto sekä senkkauuni 2:n muuntaja. Investointina tämä tarkoittaisi noin 600 000 € pääoman sitomista, joka muodostuu 75 % muuntajan hinnasta.

Käytännön työtä ja omaisuuden hallintaa sujuvoittaa tiedon parantaminen olemassa olevasta laitteistosta. Tämä huomio nousi säännöllisesti esiin työn aikana. Esimerkkinä tästä voidaan käyttää joitakin suojarleitä, joista tiedossa on mallisarja, mutta tarkennus käytetyistä suojausfunktioista puuttuu. Tämän seurauksena varaosatilanteen vertailua absoluuttisella tarkkuudella on mahdoton suorittaa. Yhtenä tulevaisuuden kehityksen kohteena voisi olla myös kohdekohtaisien listauksien laatiminen siitä, mitä varaosia voidaan missäkin käyttää ja millaisia toimenpiteitä tämä vaatii.

Yhteenvetona kokonaisuudessaan työ onnistui hyvin. RIG:n henkilökunta oli hyvin tukena työn eri vaiheissa ja työ on tuottanut arvoa myös yritykselle. Aiempi, hieman puutteellinen tietämys ja käytännön kokemus teollisuusjakeluverkon laitteistosta aiheutti ajoittain pieniä haasteita. Työn aikana tekijän tietämys lisääntyi varsin laajasti monella eri jakeluverkkoon liittyvällä laitetason osa-alueella.

## LÄHTEET

- [1] E. Lakervi, J. Partanen, Sähkönjakelutekniikka, Otatieto, Helsinki 2008, s.215, 216-231, 228-230
- [2] H. Aalto, kunnossapitotekniikan perusteet, Painoyhtymä Oy, s.61-
- [3] METSTA ry, SFS-EN-13306 Kunnossapito, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 2. painos 2010, liite A, s.34
- [4] K. Heinonen, E. Jantunen, J. Kautto, V. Kokko, K. Komonen, S.Lakka, P. Leinonen, V. Lumme, J. Miettinen, H. Mikkonen, R. Mäkeläinen, E. Riutta, P. Sulo, Kuntoon perustuva kunnossapito, KP-Media Oy, Kerava 2009, s.116, 119-120, 124-127, 128-131
- [5] FCGsmart Oy, FCG Smart, FCG Smart, 2015, <http://www.fcgsmart.fi/>
- [6] H. Aalto, Kunnossapitotekniikan perusteet, KP-media, 3. painos, s.53, 65, 220
- [7] M. Aro, J. Elovaara, M. Karttunen, K. Nousiainen, V. Palva, Suurjännitetekniikka, Otatieto, Helsinki 2009, s.173, 200
- [8] SESKO ry, SFS-EN-50110-1:2013 Sähkötyöturvallisuus, Suomen Standardisoimisliitto SFS ry, 3. painos 2015, liite X, s.53
- [9] Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, D1-2012, Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto ry, Espoo 2012, s.54
- [10] Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes), Sähköalan vastuuhenkilöt ja pätevyystodistukset, <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Sahko-ja-hissit/Sahkoalan-vastuuhenkilot-ja-urakointi/Sahkoalan-vastuuhenkilot/>
- [11] RIG Oy, Röyttä Industrial Grid vanhat kotisivut, RIG Oy, 2013
- [12] Aurora Infrastructure, Aurora Infrastructure, 2015, <http://aurorainfrastructure.com/fi/>
- [13] RIG Oy, Laatupolitiikka, RIG Oy, 2015, s.1
- [14] RIG Oy, Kuumavalssaamo info, RIG Oy, 2014, s.1-12
- [15] RIG Oy, Tuotteen/palvelun toteuttaminen, RIG Oy, 2015, s.1-6
- [16] Aurora Infrastructure, Aurora Infrastructure, 2015, <http://aurorainfrastructure.com/fi/>

- [17] Energiavirasto, Sähköverkot, Energiavirasto, 2011, [https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Sahkonjakeluverkko\\_suurjannitteinen\\_jakeluverkko\\_suuntaviivat\\_2012\\_2015.pdf/e9de867e-513b-4ce5-84d2-322e1c585ba0](https://www.energiavirasto.fi/documents/10179/0/Sahkonjakeluverkko_suurjannitteinen_jakeluverkko_suuntaviivat_2012_2015.pdf/e9de867e-513b-4ce5-84d2-322e1c585ba0) s.6
- [18] E. Falck, T. Keikko, L. Korpinen, M. Mikkola, Yliaalto-opus, s.15, <http://www.leenakorpinen.fi/archive/opukset/yliaalto-opus.pdf>
- [19] M-Technology Oy, Kunnossapitojärjestelmä-huoltosuunnittelu, RIG Oy, 2015, Intranet
- [20] H. Vanha, Harjoittelukirja AMK, Henri Vanha, 2010, s.6-11
- [21] Outokumpu Oyj, Teräksen valmistusprosessi, Outokumpu Oyj, 2010, Intranet
- [22] Outokumpu Oyj, Prosessikaavio, Outokumpu Oyj, 2010
- [23] Technopedia, IT-infrastructure, Techonopedia, 2016, <https://www.techopedia.com/definition/29199/it-infrastructure>
- [24] Wikipedia, Tietoturva, Wikipedia, 2016, <https://fi.wikipedia.org/wiki/Tietoturva>
- [25] H. Vanha, haastattelu Heikki Alamäki 3-8.3.2016, Henri Vanha, 2016
- [26] RIG Oy, IT-verkkokuva RIG:n verkosta, RIG Oy, 2014
- [27] RIG Oy, RIG:n tietoverkot, RIG Oy, 2014
- [28] Immonen Jarkko, Luentomoniste, Joensuun Yliopisto, 2003, [http://cs.joensuu.fi/~jimmonen/gkl\\_moniste/gkl\\_v202.html](http://cs.joensuu.fi/~jimmonen/gkl_moniste/gkl_v202.html)
- [29] P. Verho, Luentokalvot Distribution automation: Luento 3: Substation automation and SCADA system, Tampereen teknillinen yliopisto, 2015, s.1-7
- [30] <http://www.netcontrol.fi/fin/tuottet/valvomot>
- [31] Laserfiche, Document Management Overview, Laserfiche, 2010, <http://www.laserfiche.com/pdf/ImagingGuide.pdf>
- [32] Viitala Miika, opinnäytetyö: Dokumentinhallinta PK-yrityksessä, Miika Viitala, 2010, s.19-20, [https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/28163/Viitala\\_Miika.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/28163/Viitala_Miika.pdf?sequence=1)
- [33] H. Anttonen, R. Naukkarinen, opinnäytetyö: Dokumenttien hallintajärjestelmän valinta OVAKO BAR OY AB:lle, H.Anttonen, R.Naukkarinen, 2010, s.12,

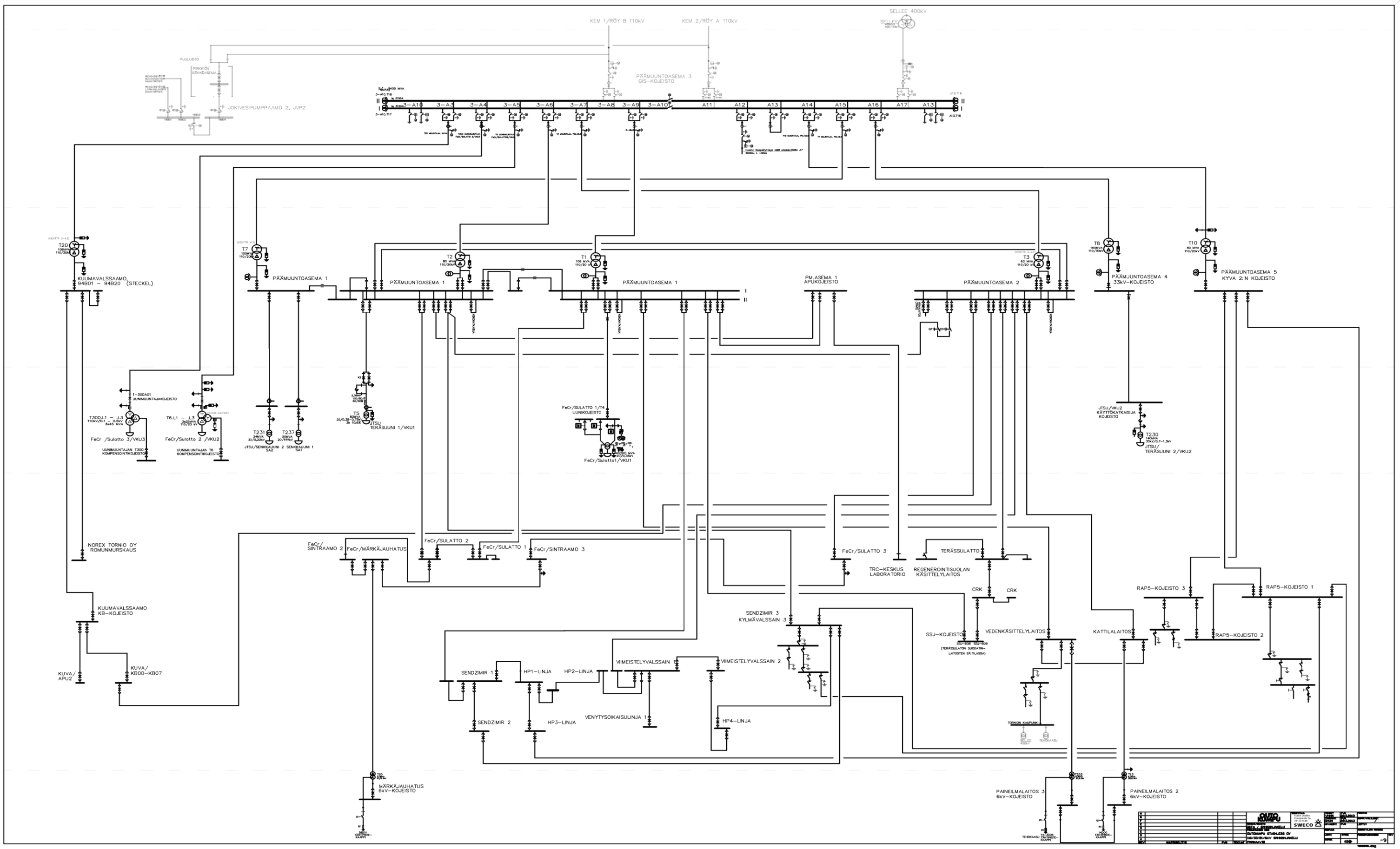
[https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/12979/Naukkarinen\\_Riikka.pdf?sequence=1](https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/12979/Naukkarinen_Riikka.pdf?sequence=1)

- [34] Econocap Co, CISS Base, Econocap Co, <http://www.econocap.fi/fi/tuotteet/ciss+base>
- [35] M-Technology Oy, WiseMaster-tuotteet, M-Technology Oy, 2013, <http://www.m-technology.fi/wisemasterflowmaint.html>
- [36] H. Vanha, Omat havainnot kunnossapitojärjestelmästä, H. Vanha, 2016, Intranet
- [37] M-Technology Oy, WiseMaster Flow Maint kunnossapitojärjestelmä Case RIG Oy esite, M-Technology, 2014, s.1-15
- [38] Logistiikan maailma, Varastointi, 2016, <http://www.logistiikanmaailma.fi/wiki/Etusivu>
- [39] P. Verho, Luentokalvot: Sähköverkko-omaisuuden hallinta: Luento 7: Sähköverkon komponenttien vanheneminen ja elinikä sekä kunnonhallinta, Tampereen teknillinen yliopisto, 2012, s.1-7
- [40] K. Nousiainen, Luentokalvot: Suurjännitetekniikka 1 : luento 10: Kunnonhallintastrategiat, Tampereen teknillinen yliopisto, 2014, s.9
- [41] P.Verho, Luentokalvot: Sähköverkko-omaisuuden hallinta: luento 9: Regulaatio, verkon kehittämistarpeiden arviointi, Verkon optimaalinen kehittäminen, Maa-seutuverkkojen kaapelointi, Tampereen teknillinen yliopisto, 2015, s.1-4
- [42] A.v. Bell, A. Inkiläinen, V. Ritvanen, J. Santala, Logistiikan ja toimitusketjun hallinnan perusteet, Suomen Osto- ja Logistiikkayhdistys LOGY ry, 2011, s.62-79
- [43] M. Haverila, I. Kouri, A. Miettinen, E. Uusi-Rauva, Teollisuustalous, Infacs, 6. painos, 2009, s.444-445
- [44] P. Heikkilä, diplomityö: sähköverkon kunnossapitojärjestelmän kehitys, Paula Heikkilä, 2010, s.20
- [45] H. Vanha, haastattelu Ari Suo 10.3.2016, Henri Vanha, 2016
- [46] RIG Oy, "Omaisuuustiedot", RIG Oy, s.1-3
- [47] J. Elovaara, Y. Laiho, Sähkölaitostekniikan perusteet, Tekijät ja Omakustantamo 1988, 2. painos 1988, s.132, 142
- [48] H. Vanha, haastattelu ja oheismateriaali Jukka Kuula 24.3.2016, Henri Vanha, 2016

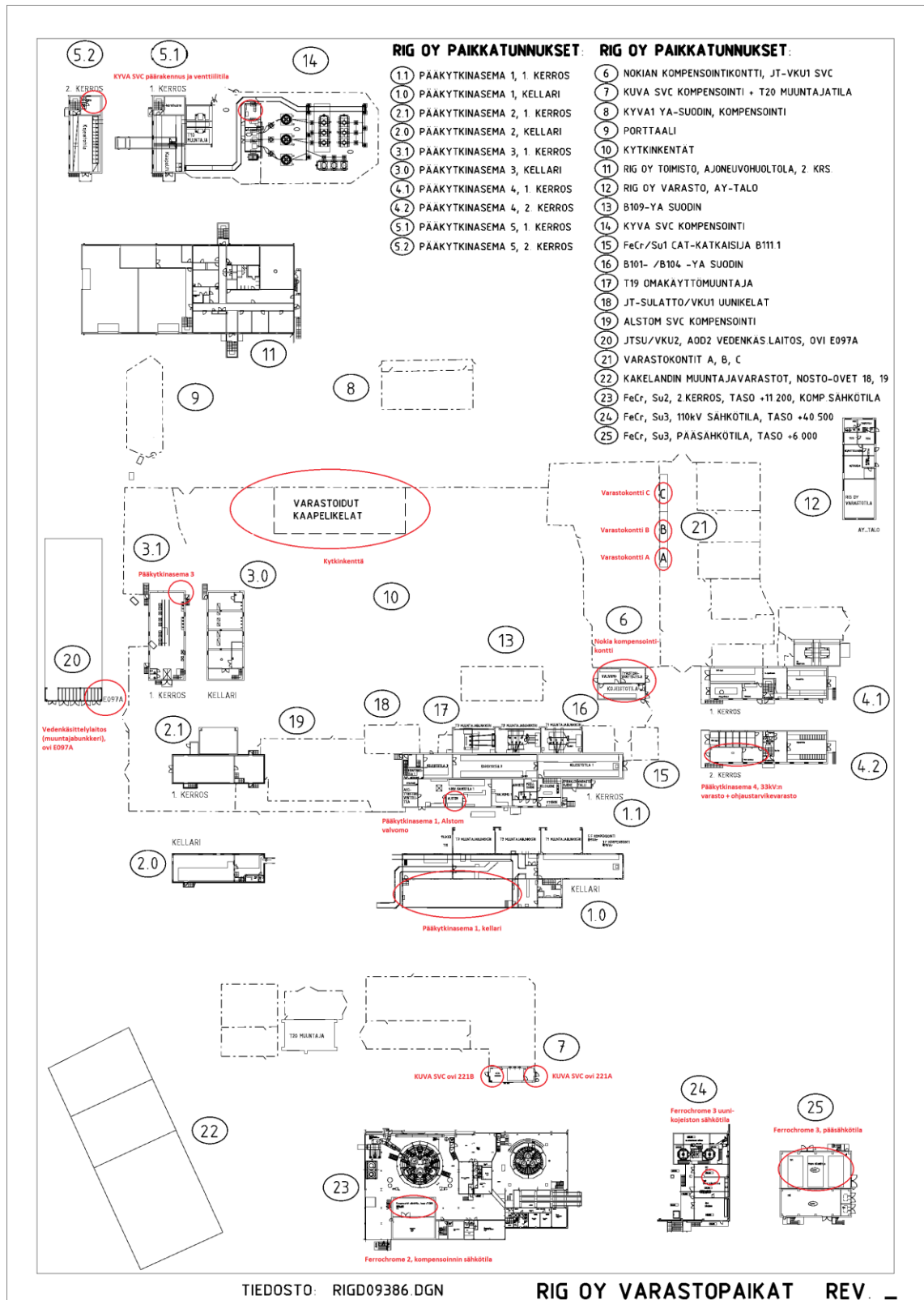
- [49] H. Vanha, sähköpostikeskustelu Jyri Koskinen 24.3.2016, Henri Vanha, 2016
- [50] RIG Oy, kaapelit kunnossapitojärjestelmästä, RIG Oy, 2016
- [51] M. Kuusinen, opinnäytetyö: Keskipännite- ja liitostekniikka, Matti Kuusinen, 2010, s.19
- [52] H. Vanha, sähköpostikeskustelu Jyri Koskinen 24.3.2016, Henri Vanha, 2016
- [53] H. Vanha, sähköpostikeskustelu Heikki Pietarinen, Henri Vanha, 2016
- [54] L. Korpinen, Muuntajat ja sähkölaitteet, Leena Korpinen, s.1-12, [http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt\\_opus/9muuntajat\\_ja\\_sahkolaitteet.pdf](http://www.leenakorpinen.fi/archive/svt_opus/9muuntajat_ja_sahkolaitteet.pdf)
- [55] Fingrid Oy/M. Väärämäki, Teho- ja mittamuuntajat, Fingrid Oy, 2004, <http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/kantaverkonABC/Sivut/ABCteho-ja-mittamuuntajat.aspx>
- [56] RIG Oy, muuntajat kunnossapitojärjestelmästä, RIG Oy, 2016
- [57] H. Vanha, haastattelu Pentti Alatalo 28.3.2016, Henri Vanha, 2016
- [58] J. Elovaara, L. Haarla, Sähköverkot II, Otatiето, Helsinki 2011, s.161, 161-169, 190-196, 335-336, 342-360, 385-387, 392-393
- [59] L. Hietalahti, M. Männistö, R. Seesvuori, V. Seesvuori, T. Wilen, Yliaallot ja kompensointi, Sähkö- ja teleurakoitsijaliitto STUL ry, 2006
- [60] RIG Oy, Lähtömateriaali Jukka Kuula, RIG Oy, 2015
- [61] H. Vanha, haastattelu Heikki Alamäki 20.4.2016, Henri Vanha, 2016
- [62] M. Niskanen, opinnäytetyö: Tehoelektroniikan opetussolu, Mikko Niskanen, 2012, s.9-18
- [63] J. Tossavainen, opinnäytetyö: Tietojärjestelmän dokumentointi, Jani Tossavainen, 2007, s.3
- [64] H. Vanha, puhelinkeskustelu Jukka Simulainen 27.4.2016, Henri Vanha, 2016
- [65] H. Vanha, haastattelu Sauli Keränen 27.4.2016, Henri Vanha, 2016
- [66] RIG Oy, säätyvien kompensointiyksikköjen vikapäiväkirjat, RIG Oy, 2006-2014
- [67] RIG Oy, SCADA-järjestelmän memo-muistio, RIG Oy, 2006-2014
- [68] H. Vanha, haastattelu Pekka Hooli 29.4.2016, Henri Vanha, 2016



LIITE 1: TEHDASALUEEN SÄHKÖNJAKELUKAAVIO



## LIITE 2: RIG OY:N VARASTOT



### LIITE 3: ENERGIAVIRASTON ILMOITTAMAT KAAPELIKOHTAISET HINNAT VUODELTA 2013. [48]

<u>Kaapelityyppi</u>	<u>Hinta €/m</u>	<u>Pyöristetty summa (€)</u>
AHXLMK 1x500 mm <sup>2</sup>	78	100
AHXLMK 1x800 mm <sup>2</sup>	139	150
HXLMK 1x1200 mm <sup>2</sup>	278	300
AHXAMK 3x120 mm <sup>2</sup>	29	50
AHXAMK-W 3x120 mm <sup>2</sup>	29	50
HMCCK 3x120 mm <sup>2</sup>	35	50
AHXAMK 3x185 mm <sup>2</sup>	35	50
AHXCMK 3x185 mm <sup>2</sup>	35	50
APYAKMM 3x185 mm <sup>2</sup>	35	50
AHXCMK-W 3x185 mm <sup>2</sup>	35	50
AHLJ-F LT 3x185 mm <sup>2</sup>	35	50
AHXAMK-WTC 3x185 mm <sup>2</sup>	35	50
AHXAMK-W 3x240 mm <sup>2</sup>	42	50
APYAKMM 3x240 mm <sup>2</sup>	42	50
<u>Kaapelityyppi</u>	<u>Hinta €/m/vaihe</u>	<u>Pyöristetty summa (€)</u>
AHXCMK 3x1x300 mm <sup>2</sup>	42	50
AHXCMK 3x1x500 mm <sup>2</sup>	78	100
AHXLMK 3x1x500 mm <sup>2</sup>	78	100
AHXLMK-W 3x1x500 mm <sup>2</sup>	78	100
AHXAMK 3x1x800 mm <sup>2</sup>	139	150
AHXCMK-W 3x1x800 mm <sup>2</sup>	139	150
AHXCMK 3x1x800 mm <sup>2</sup>	139	150
AHXLMK 3x1x800 mm <sup>2</sup>	139	150
AHXLMK-W 3x1x800 mm <sup>2</sup>	139	150
AHXAMK-W 3x185 mm <sup>2</sup>	35	50
AHXCMK 2x3x800 mm <sup>2</sup>	139	150
APYAKMM 2x240 mm <sup>2</sup>	42	50

## LIITE 4: TEHDASALUEELLA OLEVAT RIG:N OMISTAMAT VARAMUUNTAJAT

<u>Valmistaja ja tyyppi</u>	<u>Teho (MVA)</u>	<u>Ensiö- jännite (kV)</u>	<u>Toisio- jännite (kV)</u>	<u>Kytkentä- ryhmä ja rakenne</u>	<u>Vuosi- malli</u>	<u>Hinta (t €)</u>
<b>ABB/Strömberg</b> DTE 3150/24	3,15	20	0,4	Dyn11 Kuiva	2008	50
<b>ABB/Strömberg</b> KTMU 24 NC 3600	3,6	20	1	Dyn11 Öljy	2004	80
<b>ABB/Strömberg</b> KTMU24NC4200	4,2	20	1	D(D)y11d0 Öljy	2005	106
<b>ABB/Strömberg</b> KCAU/T 123 NC 45000	28	110	0,385–2,612	li0i0 Öljy	2014	25
<b>ABB/Strömberg</b> KDOR 140000/36	140	33	0.735–1.327	Dd10 Öljy	2002	500
<b>ABB/Strömberg</b> KTMU24NC3800	3,6/1,8 /1,8	20	0,83	Dy11d0 Öljy	1987	20
<b>ABB/Strömberg</b> KDOR 160000/36	160	33	0.735–1.327	Dd10 Öljy	2015	2200
<b>ABB/Strömberg</b> KCAT 24 x 40	40	20	90–350	IIIIi0 Öljy	1992	700
<b>ABB/Strömberg</b> KTAT 24 x 65	84	20	350–585– 752	Diii11 Öljy	1994	1300
<b>ABB/Strömberg</b> KTHN 24 A 3150	3,15	20	0,69	Dyn11 Kuiva	1997	50
<b>AEG</b> DCU 4334 M	2	20	0,4	Dyn11 Öljy	1994	40
<b>ASEA</b> TOF233	1,6	20	0,4	Dyn11 Öljy	1971	20
<b>GEAFOL/Trafo-Union</b> 4GD6364-3HC	2	20	0,4	Dyn11 Kuiva	2001	40
<b>GEAFOL/Trafo-Union</b> 4GD6364-3HC	2	20	0,4	Dyn11 Kuiva	2002	40
<b>GEAFOL/Trafo-Union</b> 4GD6564-8KC	3,15	20	0,69	Dyn11 Kuiva	2002	50
<b>GEAFOL/Trafo-Union</b> 4GD6564-8KC	3,15	20	0,69	Dyn11 Kuiva	2002	50
<b>GEAFOL/Trafo-Union</b> 4GD6564-8KC	3,15	20	0,69	Dyn11 Kuiva	2002	50
<b>GEAFOL/Trafo-Union</b> 4GD6564-8KD	3,15	20	0,69	Yyn0 Kuiva	2002	50
<b>Siemens</b> EWPW7551+EWAW7851	45	110	0,1–0,6 *	li0i0 Öljy	2012	1500

<b>Strömberg</b> KTMU 24X4627	1	20	0,4	Dyn11 Öljy	1973	40
<b>Strömberg</b> KTMU 4629X3914	1	20	0,4	Dyn11 Öljy	1968	40
<b>Strömberg</b> KTMU 5229X4004	1,5	20	0,4	Dyn11 Öljy	1967	20
<b>Strömberg</b> KTMU 5229X4004	1,5	20	0,4	Dyn11 Öljy	1967	20
<b>Strömberg</b> KTKU 24XA7127	2	20	0,4	Dyn11 Öljy	1975	40
<b>Strömberg</b> KTKU 24XA7127	2	20	0,4	Dyn11 Öljy	1976	40
<b>Strömberg</b> KTMU 24 NA 2000	2	20	0,4	Dyn11 Öljy	1987	40
<b>Strömberg</b> KTMU24XA7127	2	20	0,4	Dyn11 Öljy	1975	40
<b>Strömberg</b> KTMU24XA7127	2	20	0,4	Dyn11 Öljy	1976	40
<b>Strömberg</b> KTMU 24 NA 3150	3,15	20	0,69	Dyn11 Öljy	1986	50
<b>Strömberg</b> KTMU 24 NC 3600	3,6	20	1	Dyn11 Öljy	1986	80
<b>Strömberg</b> KYRT 123x33	25	110	0,09–0,44 *	li0i0 Öljy	1984	20
<b>Strömberg</b> KYRT 123x33	25	110	0,09–0,44 *	li0i0 Öljy	1984	20
<b>Strömberg</b> KTRT 123 x 63	63	110	20	YNd11 Öljy	1976	760
<b>TMC</b>	3,15	20	0,69	Dyn11 Kuiva	2007	50

\* = Muuntaja varustettu 20 kV kompensointikäymillä

## LIITE 5: TEHDASALUEELLA OLEVAT RIG:N OMISTAMAT KÄYTÖSSÄ JA VARALLA OLEVAT KATKAISIJAT

<u>Valmistaja ja tyyppi</u>	<u>Sovite</u>	<u>Pilari- tyyppi</u>	<u>Virta I<sub>n</sub> (A)</u>	<u>Jännite U<sub>n</sub> (kV)</u>	<u>Vuosi- malli</u>	<u>Määrä käytössä (kpl)</u>	<u>Määrä varalla (kpl)</u>
<b>ABB</b> EDF SK1-1	Ulko- katkaisija	SF6	2500	52	2002	2	1 (I)
<b>ABB</b> ELF SP 0-1	Ulko- katkaisija	SF6	4000	28	1997	2	1 (I)
<b>ABB</b> ELF SP 3-1	Ulko- katkaisija	SF6	4000	123	1998	1	0
<b>ABB</b> HD4 12.06.25	MHG12 1250 K1	SF6	1250	12	2002	2	2 (VL)
<b>ABB</b> HD4 12.12.25	MHG12 1250 K1	SF6	1250	12	2002	3	0
<b>ABB</b> HD4 36.25.25	Kiinteä METE	SF6	2500	36	2004	2	1 (I)
<b>ABB</b> HD4/P 24.12.25	UniGear ZS1	SF6	1250	24	2004	2	0
<b>ABB</b> HD4/S 24.06.20	CBC24/18- 750S	SF6	630	24	2002	1	1 (VL)
<b>ABB</b> LTB 72,5 D1/B	Ulko- katkaisija	SF6	3150	72,5	2011	1	0
<b>ABB</b> LTB 72,5 D1/B	Ulko- katkaisija	SF6	3000	72,5	2004	2	0
<b>ABB</b> SACE VR121/P	pj-katkaisija	400V	3200	0,4	2005	1	0
<b>ABB</b> VD4 24.12.25	ASEA	Tyhjiö	1250	24	2010	1	5 (I)
<b>ABB</b> VD4 24.12.25	METE-ZWK	Tyhjiö	1250	24	2011	2	1 (VL)
<b>ABB</b> VD4 24.12.25	MHG24 063-125 K1	Tyhjiö	1250	24	2003- 2012	3	0
<b>ABB</b> VD4 24.12.25	MH	Tyhjiö	1250	20	2014	1	0
<b>ABB</b> VD4 24.20.25	MHG24 200 K14	Tyhjiö	2000	24	2005	1	0
<b>ABB</b> VD4 24.25.25	METE	Tyhjiö	2500	24	2006	3	0
<b>ABB</b> VD4 2412-25	UniGear ZS1	Tyhjiö	1250	24	2003	14	2 (VL)
<b>ABB</b> VD4 2412-25	ASEA	Tyhjiö	1250	24	1998	6	0
<b>ABB</b> VD4 2425-25	UniGear ZS1	Tyhjiö	2500	24	2003	2	1 (I) + 1 (VL)
<b>ABB</b> VD4/P 24.12.25	UniGear ZS1	Tyhjiö	1250	24	2004- 2008	5	2 (VL)
<b>ABB</b> VD4/P 24.25.25	UniGear ZS1	Tyhjiö	2500	24	2004	2	0
<b>ABB distribution</b> HPA 24/1225 C MH	MH	SF6	1250	24	1989- 1997	39	7 (I) + 5 (VL)

<b>ABB distribution</b> HPA 24/1225 CK	ASEA	SF6	1250	24	1989-1995	3	5 (I)
<b>ABB distribution</b> HPA 24/2025 C MH	MH	SF6	2000	24	1994	2	1 (I)
<b>ABB distribution</b> HPA 24/2525 FS	METE ZWK 34	SF6	2500	24	2000	2	1 (I)
<b>ABB distribution</b> HPA 24/2525 CK	ASEA	SF6	2500	24	1989-1995	3	0
<b>ABB distribution</b> HPA 24/625 C MH	MH	SF6	630	24	1993	9	1 (VL)
<b>ABB distribution</b> HPA 24/1225 B MH	MH	SF6	1250	24	1988	1	0
<b>ABB Switchgear</b> HPA 12/1225 C MH	MH	SF6	1250	12	1994-1997	3	0
<b>ABB Switchgear</b> HPA 24/1220 CF	METE ZWK 54	SF6	1250	24 *	1995	2	1 (I)
<b>ABB Switchgear</b> HPA 24/1225 CK	ASEA	SF6	1250	24 *	1995	1	1 (I)
<b>ABB Switchgear</b> HPA 24/2525 C MH	MH	SF6	2500	24	1995	1	0
<b>ABB Switchgear</b> HPA 24/2525 CF	MET-ZWK34	SF6	2500	24	1996	2	0
<b>AEG</b> ECA12-25-12-16	UTU SKH	Tyhjiö	1250	12	1996	1	0
<b>AEG</b> ECA24-25-12-27	UTU Kontio	Tyhjiö	1250	24	1996	2	2 (VL)
<b>AEG</b> GO 1537W73	Uunikojeisto	Paine ilma	2500	36	1988	2	0
<b>ASEA</b> HKK24/1220 KM	ASEA	vähä-öljy	1250	24	1975-1986	41	11 (I) + 2 (VL)
<b>ASEA</b> HKK24/3120 KM	ASEA	vähä-öljy	2500	24	1975	11	1 (I)
<b>ASEA</b> HKK24/3120 KM	ASEA	vähä-öljy	1250	24	1975	1	0
<b>ASEA</b> HKK24/3120 KM	ASEA	vähä-öljy	3150	24	1986-1987	3	0
<b>GEC ALSTHOM</b> FP2431H	Kiinteä METE	SF6	4000	24	1996	2	0
<b>Merlin Gerin</b> Fluarc FG 3	UTU kiinteä	SF6	2500	24	1996	3	1 (I)
<b>Schneider Electric</b> HVX12-25-12-F	UTU SKH	Tyhjiö	1250	12	2014	2	1 (I)
<b>Schneider Electric</b> HVX24-25-12-F	UTU Kontio	Tyhjiö	1250	24	2011	3	0
<b>Siemens</b> 3AE1714-2BE44-0EN2-Z D52+D91+F20+W63	Siemens NXAIR MW	Tyhjiö	1250	24	2015	2	1 (I)
<b>Siemens</b> 3AE1724-2AE40-0EN2-Z B63+D91	NX-AIR	Tyhjiö	1250	24	2011	19	2 (I) + 2 (VL)
<b>Siemens</b> 3AF6542-4	Siemens 8BJ20	Tyhjiö	1250	24	1989	6	2 (VL)
<b>Siemens</b> 3AH1254-6	B228.1-7	Tyhjiö	2500	24	2001	2	3 (VL)
<b>Siemens</b> 3AH1264-2	Siemens 8BJ50	Tyhjiö	1250	24	1995-2015	7	3 (VL)

<b>Siemens</b> 3AH3264-2	Siemens 8BJ20	Tyhjiö	1250	24	2002	1	0
<b>Siemens</b> 3AH3305-6	8BT2	Tyhjiö	2500	36	2012	1	1 (I)
<b>Siemens</b> 3AH4305-4	Mittatilattu	Tyhjiö	2500	36	2002	1	1 (I)
<b>Siemens</b> 3AH4305-6FQ44-0EC2-Z	Mittatilattu	Tyhjiö	2500	36	2002	1	1 (I)
<b>Siemens</b> 3AH4945-4	8DA10 36kV GIS	Tyhjiö	2000	36	2002	6	2 (VL)
<b>Siemens</b> 3AH5324-2	8BT2	Tyhjiö	1250	36	2012	2	1 (I)
<b>Siemens</b> 3AH5535-2ME40-0EM0	NXPLUS C	Tyhjiö	1250	24	2009	2	0
<b>Siemens</b> 3AJ9330-2AE40-0EJ2 Z K80	NXAIR M	Tyhjiö	1250	24	2001	73	1 (I) + 28 (VL)
<b>Siemens</b> 3AJ9330-2AE40-0EJ2 Z K80	NXAIR M	Tyhjiö	1250	24 *	2001	5	1 (VL)
<b>Siemens</b> 3AJ9330-2AE40-2EJ2 Z K80	NXAIR M	Tyhjiö	1250	24	2001	6	0
<b>Siemens</b> 3AJ9430-2AE40-2EJ0 Z K80	NXAIR M	Tyhjiö	2500	24	2001	1	0
<b>Siemens</b> 3AJ9430-2AE40-2EJ2 Z K80	NXAIR M	Tyhjiö	2500	24	2001	12	2 (VL)
<b>Siemens</b> 3AP1 FG	Ulko- katkaisija	SF6	4000	72,5	2003	1	0
<b>Siemens</b> 8DN8	110kV GIS	SF6	2500	123	2001- 2012	11	1 (VL)
<b>Siemens</b> 8DN8	110kV GIS	SF6	3150	123	2001- 2003	3	0
<b>Sprecher&amp;Schuh</b> HP306 G-25-122002	METE-WK10	vähä- öljy	2500	24	1986	8	0
<b>Sprecher&amp;Schuh</b> HPTW306F-25-122003	Strömberg vanha	vähä- öljy	2500	24	1991	1	0
<b>Sprecher&amp;Schuh</b> HBtb306f	Strömberg vanha	vähä- öljy	1600	24	1967	1	0
<b>Strömberg</b> OSAB 20-W2	Strömberg vanha	vähä- öljy	1000	24	1967	4	2 (VL)
<b>Strömberg</b> OSAN 24P1	METE	vähä- öljy	1250	24	1984- 1987	27	1 (I)
<b>Strömberg</b> OSAN 24P1	METE	vähä- öljy	1250	24 **	1986	4	2 (I)
<b>Vaasa Switchgears Ltd</b> UCB 24-25-630	Vaasa kojeis- tot VEKE24	Tyhjiö	630	24	1998- 2010	4	1 (I)

\* = Varustettu 110 VDC alijännitekelalla

\*\* = Varustettu 220 VAC alijännitekelalla

I = Katkaisija on irrallaan

VL = Katkaisija on kiinni varalähdössä, mutta on käytettävissä



## LIITE 6: TEHDASALUEELLA OLEVAT RIG:N OMISTAMAT RE-AKTORIT

Valmistaja ja tyyppi	Käyttö- kohde	Induktanssi (mH)	Toleranssi (%)	Jännite (kV)	Määrä (kpl)	Vuosi- malli
<b>Nokia Capasitors</b> XYKK 21,2mH/247A	B101	21,2	3/-3	20	3	1995
<b>Nokia Capasitors</b> XUEL 7.0mH	B104	7	3/-3	20	3	1984
<b>Nokia Capasitors</b> XKKR 10.11mH	B109	10,11	3/-3	20	3	2013
<b>Nokia Capasitors</b> XYKK 8,85mH/589A	F2	8,85	3/-3	20	3	1995
<b>Nokia Capasitors</b> XYKR 11,47/520A	F3	11,47	3/-3	20	3	2012
<b>Nokia Capasitors</b> XYKR 6,88/822A	F3	6,88	3/-3	20	3	2012
<b>Coil innovation</b> FV1-29.8/467/200/200	JT-VKU1 SVC	29,8	3/-3	20	3	2015
<b>Coil innovation</b> FV1-4.43/1181/200/200	JT-VKU1 SVC	4,43	3/-3	20	3	2015
<b>Coil innovation</b> FV1-4.66/559/200/200	JT-VKU1 SVC	4,66	3/-3	20	3	2015
<b>Coil innovation</b> FV1-1.07/1546/200/200	JT-VKU1 SVC	1,07	3/-3	20	3	2015
<b>Coil innovation</b> CL1-0.4/2063/200/200	JT-VKU1 SVC	0,4	3/-3	20	3	2015
<b>Nokia Capasitors</b> XYTP 2*12mH/2063A	JT-VKU1 SVC	2*12	0/-5	20	2 (4)	X
<b>Alstom</b> XYTP 2*12mH/2063A	JT-VKU1 SVC	2*12	0/-5	20	1 (2)	X
<b>TRENCH Electric</b> 440A/50Hz R30N?	JT-VKU1 SVC (Vara)	11,90	X	20	3	1989
<b>TRENCH Electric</b> 760A/50Hz R30N?	JT-VKU1 SVC (Vara)	17,90	X	20	3	1989
<b>TRENCH Electric</b> 920A/50Hz R30N?	JT-VKU1 SVC (Vara)	3	X	20	3	1989
<b>TRENCH Electric</b> BDF 125/1203/25.29	JT-VKU1 SVC (Vara)	2*25,29	X	20	3 (6)	1989
<b>TRENCH Electric</b> FVL 170/1631/6,34	JT-VKU2 SVC	6,34	0/-2	33	3	2001
<b>TRENCH Electric</b> FVR 170/670/15,95	JT-VKU2 SVC	15,95	2/0	33	3	2001
<b>TRENCH Electric</b> FVR 170/1100/3,87	JT-VKU2 SVC	3,87	3/0	33	3	2001

<b>TRENCH Electric</b> FVS 170/50/2,78	JT-VKU2 SVC	2,78	3/0	33	9	2001
<b>TRENCH Electric</b> FVS 170/44/1,2	JT-VKU2 SVC	1,2	5/0	33	9	2001
<b>Nokia Capasitors</b> X	KUVA kiinteä	27,2 (29,2)	3/-3	20	3	1988
<b>Nokia Capasitors</b> X	KUVA kiinteä	18,9	3/-3	20	3	1988
<b>Nokia Capasitors</b> X	KUVA kiinteä	7,33	3/-3	20	3	1988
<b>Nokia Capasitors</b> X	KUVA kiinteä	27,2 (10,6)	3/-3	20	3	1988
<b>Nokia Capasitors</b> X	KUVA kiinteä	18,9 (5,62)	3/-3	20	3	1988
<b>Nokia Capasitors</b> X	KUVA kiinteä	7,33 (2,13)	3/-3	20	3	1988
<b>TRENCH Electric</b> TCR 125/2678/21,8	KUVA SVC	21,8	X	20	3	2004
<b>TRENCH Electric</b> FVR 125/886/17	KUVA SVC	17	X	20	3	2004
<b>TRENCH Electric</b> FVR 125/1463/3,77	KUVA SVC	3,77	X	20	3	2004
<b>TRENCH Electric</b> FVS 125/973/1,98	KUVA SVC	1,98	X	20	3	2004
<b>TRENCH Electric</b> FVS 125/1381/0.66	KUVA SVC	0,207	X	20	3	2004
<b>ABB/Haefely</b> FIR 3*11.7/225/6,4	KYVA kiinteä	11,7	3/-3	20	3	1991
<b>ABB/Haefely</b> FIR 3*5,85/250/10,5	KYVA kiinteä	5,85	3/-3	20	3	1991
<b>ABB/Haefely</b> FIR 3*1,95/360/18	KYVA kiinteä	1,95	3/-3	20	3	1991
<b>ABB/Haefely</b> FIR 3*2,09/275/17,5	KYVA kiinteä	2,09	3/-3	20	3	1991
<b>Nokia Capasitors</b> XYTK 2*22.31mH/ 1122A	KYVA SVC	2*22,31	5/-5	20	3 (6)	1999
<b>Nokia Capasitors</b> XYVK 0.5mH/1122A	KYVA SVC	0,5	5/-5	20	3	1999
<b>Nokia Capasitors</b> XYKK 0,75mH/1106A	KYVA SVC	0,75	3/-3	20	3	1999
<b>Nokia Capasitors</b> XYKK 1,8mH/947A	KYVA SVC	1,8	3/-3	20	3	1999
<b>Nokia Capasitors</b> XYKK 18mH/320A	KYVA SVC	18	3/-3	20	3	1999

## LIITE 7: TEHDASALUEELLA OLEVAT RIG:N OMISTAMAT KON- DENSAAATTORIYKSIKÖT

<u>Valmistaja ja tyyppi</u>	<u>Määrä käytössä (kpl)</u>	<u>Kapasitanssi manuaalista (uF)</u>	<u>Määrä varastossa (kpl)</u>	<u>Kapasitanssi arvokilvistä (uF)</u>	<u>Käyttökohde</u>
<b>ABB</b> CHDB 132 423kVAr/7557V	64	22.4–24.8	3	23.6 *	KYVA (kiinteä)
<b>ABB</b> CHDB 132 424kVAr/7640V	64	21.9–24.3	1	23.1 *	KYVA (kiinteä)
<b>ABB</b> CHDB 132 466kVAr/7200V	128	27.3–30.1	0	–	KYVA (kiinteä)
<b>ABB</b> CHDB–142 719kVAr/4800V	36	99.3	13	99.3 *	KUVA (säätävä)
<b>ABB</b> CHDB–182 857.5kVAr/6850V	72	58.2	8	58.2 *	KUVA (säätävä)
<b>ABB</b> CHDB–202 1026.6kVAr/6800V	18	70.7	32	70.7 *	KUVA (säätävä)
<b>ABB</b> CHDB–202 840.5kVAr/11633V	246	19.8	1	19.8 *	JT–VKU2 (säätävä)
<b>ABB</b> CHDB–202 995.7kVAr/7200V	42	61.1	2	61.1 *	KUVA (säätävä)
<b>ABB</b> CHDB–202 1027.5kVAr/6750V	54	71.2	1	71.8 *	KUVA (säätävä)
<b>ABB</b> CHDB–882 341.6kVAr/1800V	24	335.6	1	335.6 *	KUVA (säätävä)
<b>ABB</b> DDNC–12	108	12.5	3	12.5	JT–VKU2 (säätävä)
<b>ABB</b> 2GUS000535–101	3	0.125	0	–	KUVA (säätävä)
<b>AEG</b> AF300kVAr/4502V EI	32	47.2	22	47.2	JT–VKU1 (Vara)
<b>AEG</b> AF300kVAr/5522V EI	72	31.3	0	–	JT–VKU1 (Vara)
<b>AEG</b> AF300kVAr/6702V EI	40	21.3	0	–	JT–VKU1 (Vara)
<b>Nokia Capacitors</b> PSLP 300kVAr/7500V	48	14.2–16.4	0	–	KUVA (kiinteä)

<b>Nokia Capasitors</b> PSLP 333kVAr/8000V	36	17.9–20.7	0	–	KUVA (kiinteä)
<b>Nokia Capasitors</b> PSLP 375kVAr/7500V	102	20.1–22.3	2	21.3–21.4	FeCr 1 (B101) ja FeCr 2 (kiinteitä)
<b>Nokia Capasitors</b> TSLP 550kVAr/9000V	36	20.5–22.7	0	–	KYVA (säätävä)
<b>Nokia Capasitors</b> TSLP 600kVAr/6700V	97	41.7–42.9	16	41.7–42.9	JT–VKU 1 (säätävä)
<b>Nokia Capasitors</b> TSLP 620kVAr/5800V	117	57.5–58.5	24	57.5–58.8	JT–VKU 1 (säätävä)
<b>Nokia Capasitors</b> TSLP 640kVAr/5000V	150	81.8–83.0	9	81.8–83.0	JT–VKU 1 (säätävä)
<b>Nokia Capasitors</b> TSLP 700kVAr/8000V	174	34.9–35.4	6+2**+2***	34.7–35.0	KYVA (säätävä)
<b>Nokia Capasitors</b> TSLP 705kVAr/8000V	120	33.4–36.9	20**+6***	35.1–35.9	FeCr 1 (B109) ja FeCr 3 (kiinteitä)
<b>Nokia Capasitors</b> YSLP 300kVAr/7000V	42	15.7–18.2	0	–	Tehdasalue (B104) (kiinteä)

\* = Poikkeama prosentteina (%) arvokilvessä.

\*\* = Kondensaattoriyksikössä on sulakevika, mutta kapasitanssi on kohteen rajoissa.

\*\*\* = Kondensaattoriyksikön teho poikkeaa käytössä olevan kohteen tehosta (alle 1 %).

Tässä tapauksessa on huomioitava mahdollinen epäsopivuus liitântöjen ja muiden sopivuustekijöiden suhteen.

## LIITE 8: TEHDASALUEELLA OLEVAT RIG:N OMISTAMAT SUOJARELEET JA NÄIDEN VARAOSAT

<u>Valmistaja, malli ja (tyyppitarkenne)</u>	<u>Vuosi- malli</u>	<u>Määrä käytössä (kpl)</u>	<u>Määrä varalla (kpl)</u>	<u>Varaosat (kpl)</u>
<b>ABB</b> REA 101	2003–2014	7		
<b>ABB</b> REF 541	2001–2004	7	1	Suojarele (1)
<b>ABB</b> REF 543	2003–2006	26	5	
<b>ABB</b> REM 543	2002	3		
<b>ABB</b> REM 544	2002	0	1	
<b>ABB</b> REX 521	2007–2012	13	2	Suojarele (2)
<b>ABB</b> SPAA 322 C/C1	1994–2003	5	1	
<b>ABB</b> SPAA 341 C1	1996–2005	20		Maavikamoduuli (2) Suojarele (2)
<b>ABB</b> SPAC 538 C/C2	1994–1999	24		Ylivirtamoduuli (2)
<b>ABB</b> SPAD 346 C/C2	1997–2004	3		Differentiaalirelemoduuli (2)
<b>ABB</b> SPAJ 110C	1996	1		
<b>ABB</b> SPAJ 111C	2002	1		
<b>ABB</b> SPAJ 131 C	1994–2003	44		Suojarele (2) Suojarele+ ylivirtamoduuli (1) Ylivirtamoduuli (1)
<b>ABB</b> SPAJ 141 C	1989–2005	91	13	Suojarele (3) Suojarele + ylivirtamoduuli (1) Ylivirtamoduuli (1)
<b>ABB</b> SPAJ 160 C	1995–2005	13		Suojarele (1)
<b>ABB</b> SPAM 150 C	1994–1996	7	2	Suojarele (1) + ylivirtamoduuli (1)
<b>ABB</b> SPAUI 110 C	1999	1		Nollajännitemoduuli (1)
<b>ABB</b> SPAUI 120	1999	1		

<b>ABB</b> SPA 121	1999	1		
<b>ABB</b> SPA 130C	1999	1		
<b>ABB</b> SPA 320 C/C1	1990–2000	6		Nollajännitemoduuli (1)
<b>ABB</b> SPA 330 C/C1	1994–2000	18		Nollajännitemoduuli (1)
<b>ABB</b> SPA 341 C	2001–2007	7		
<b>ABB</b> TVOC (1SFA663002–A / 1SFA663001R1001)	1990–2005	10	1	Valoyksikkö (3) Virtayksikkö (2) valosilmä (1)
<b>Alstom</b> KCEG (KCEG15201F51PEB)	2001	1		
<b>Alstom</b> KCEG (KCEG15201N51EEC)	2003	1		
<b>Alstom</b> MICOM P441 (P441311A3A0??0A)	2001–2003	2		
<b>Alstom</b> MICOM P541 (P541311B3A0050A)	2001	1		
<b>Siemens</b> Siprotec 7UT61 (7UT6121–5EB22–1AA0)	2006	1		
<b>Siemens</b> Siprotec 7SD61 (7SD6101–5BB29– 0BN0)	2001–2002	5		Differentiaalisuojarele (2)
<b>Siemens</b> Siprotec 7SD61 (7SD6101–5BB99–1BJ0)	2003–2011	2		Differentiaalisuojarele (1)
<b>Siemens</b> Siprotec 7SD61 (7SD6105–5BB29–0BJ0)	2006	1		
<b>Siemens</b> Siprotec 7SD61 (7SD6106–5BB29– 0BN0)	2002	1		
<b>Siemens</b> Siprotec 7SJ62 (7SJ6211–5EB90– 1FE0/GG)	2014	1		
<b>Siemens</b> Siprotec 7SJ62 (7SJ6221–4EB22–3FC0)	2001–2002	83	31	Suojarele (2)
<b>Siemens</b> Siprotec 7SJ62 (7SJ6221–4EB22–3FD0)	2001–2002	22	6	

<b>Siemens</b> Siprotec (7SJ62 7SJ6221-4EB22-3HD0)	2001	1		
<b>Siemens</b> Siprotec 7SJ62 (7SJ6221-4EB22-3HF0)	2001-2002	10		
<b>Siemens</b> Siprotec 7SJ62 (7SJ6221-4EB22-3HH0)	2001	2		
<b>Siemens</b> Siprotec 7SJ62 (7SJ6221-5EB22-3FC0)	2001	1	1	
<b>Siemens</b> Siprotec (7SJ62 7SJ6221-5EB22-3FD0)	2001	1		
<b>Siemens</b> Siprotec 7SJ62 (7SJ6221-5EB22-3HH0)	2001-2003	11		Suojarele (1)
<b>Siemens</b> Siprotec 7SJ62 (7SJ6221-5EB90-3FE0/(FF))	2011	3		Suojarele (1)
<b>Siemens</b> Siprotec 7SJ62 (7SJ6222-5EB22-3HH0/(GG))	2015	6		
<b>Siemens</b> Siprotec 7SJ62 (7SJ6222-5EB90-3FD0/(FF))	2011	22	4	Suojarele (1)
<b>Siemens</b> Siprotec 7SJ63 (7SJ6315-4EB22-3FD0)	2000-2014	12		Suojarele (1) *
<b>Siemens</b> Siprotec 7SJ63 (7SJ6316-4EB22-3HF0)	2000	1		
<b>Siemens</b> Siprotec 7SJ63 (7SJ6355-5EB90-3FE0)	2011	1		Suojarele (1)
<b>Siemens</b> Siprotec 7UM51 (7UM5150-4CA00-OB/DD)	1995	1		
<b>Siemens</b> Siprotec 7UT61 (7UT6121-5EB91-1BA0)	2011	1		Differentialisuojairele (1)
<b>Siemens</b> Siprotec 7VK51 (7VK5122-4CA01-0AA0/GG)	2001-2003	2		
<b>Strömberg</b> SPAJ 1B1 J3	1986-1994	14	1	Suojarele (2) **
<b>Strömberg</b> SPAJ 3C1 / 3C5 J3	1984-1986	17	1	Suojarele (2) *

<b>UTU</b> ARC10 + CR3	1996	1		
<b>UTU</b> CR3	1996–2006	25		
<b>VAMP/</b> <b>Schneider Electric</b> VAM 4C	2009–2013	5		
<b>VAMP/</b> <b>Schneider Electric</b> VAMP 220	2003	3		Suojarele (1)
<b>VAMP/</b> <b>Schneider Electric</b> VAMP 221 (V221–3A3AAA)	2009–2013	6		Suojarele (1) I/O-yksikkö (2)
<b>VAMP/</b> <b>Schneider Electric</b> VAMP 255	2009–2011	8		
<b>VAMP/</b> <b>Schneider Electric</b> VAMP 3AX5	1998	1		

\*/\*\* = Osittain toimivien tai epävarmasti toimivien kohteiden lukumäärä